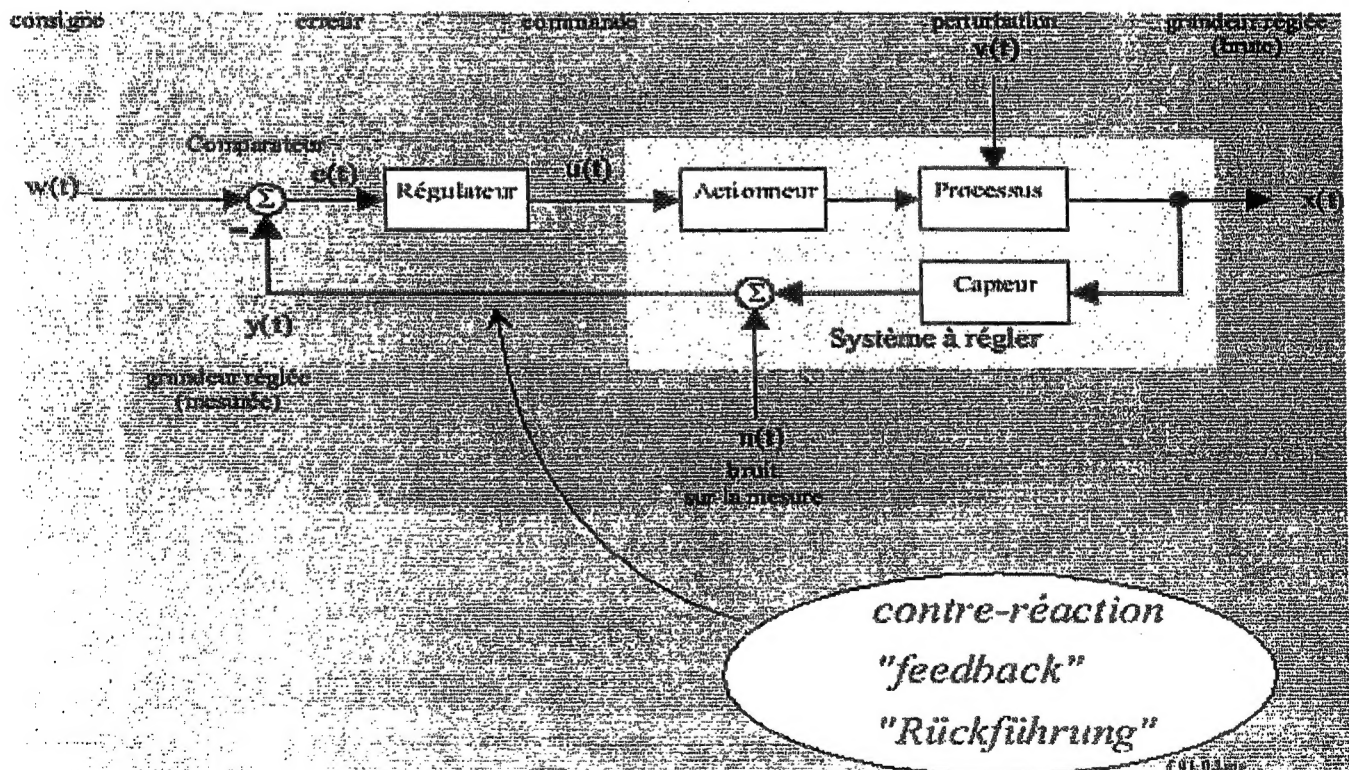


Université de Toulouse le Mirail
Institut Universitaire de technologie
Département Génie Industriel et maintenance

Travaux Pratiques : Automatique et Systèmes
2^{ème} année



Sommaire

	Page
Introduction	2
CAO automatique et systèmes	7
Asservissement de position	20
Régulation de niveau	24
Régulation de température	29 + 45
Simulation analogique et Robotique	31
NATLAB	52

Université de Toulouse le Mirail

**Institut Universitaire de technologie
Département Génie Industriel et maintenance**

**Travaux Pratiques : Automatique et Systèmes
2^{ème} année**

Introduction : ce manuel constitue le support principal des travaux pratiques à l'intention des étudiants de 2^{ème} année de Génie industriel et maintenance. Les travaux ont pour objectif de comprendre les concepts, techniques et méthodes vues en cours et comment appréhender la notion de système à travers les différentes facettes des systèmes qu'ils soient en mode de simulation, systèmes mécaniques, électromécaniques, thermiques ou procédés. Tous les TP ont également pour objectifs d'étudier aussi la régulation industrielle de ces systèmes à travers une approche d'analyse du système et sa commande. Les séries de TP sont

1. Simulation numérique sur PC et analogique sur calculateur analogique : analyse et commande
2. Régulation de niveau : commande numérique et analogique
3. Régulation de température
4. Asservissement de position
5. Robotique : commande de robot par apprentissage et analyse de précision et répétabilité (ce TP sera partiellement programmé si les TP de régulation thermique sont à jour)

Notes :

1. Les compte rendus de TP ne doivent dépasser 4 pages (hors tracés de courbes). Les compte rendu doivent refléter les travaux effectués ainsi les difficultés rencontrées et **NON** les corrigés d'exercices fait travaux dirigés.
2. Les compte rendus doivent être rendus à la fin de la séance.
3. Les TP sont basés essentiellement sur la notion d'observation et d'analyse des résultats
4. Le TP est une séance de formation, tout problème rencontré, difficulté constatée ou notion non comprise doit être reporté à l'enseignant durant la séance et également sur le compte rendu. Le plus important est de comprendre et **NON** de terminer le TP.
5. La note de TP est basée sur l' assuidité (et non l'efficacité) pendant les séances TP, le compte rendu et le contrôle TP fait à la dernière heure de la dernière séance.

La devise d'un travail pratique :

OBSERVATION → ANALYSE → VALIDATION

Rappel :

La régulation automatique est la technique de l'ingénieur offrant les méthodes/outils nécessaires à la prise de contrôle d'un système physique (installation de production, robot, alimentation électronique stabilisée, etc) en vue d'en imposer le comportement. Cette prise de contrôle s'effectue par l'intermédiaire de certains signaux (grandeurs physiques) qu'il est alors nécessaire de mesurer afin de déterminer l'action à entreprendre sur le système. Le contrôle est automatique, i.e. aucune intervention humaine n'est nécessaire.

Le comportement des grandeurs contrôlées peut/doit en général satisfaire plusieurs critères:

- on souhaite qu'une certaine grandeur physique (vitesse, courant, température) ait une valeur moyenne donnée en régime permanent
- cette même grandeur physique doit passer d'une valeur à une autre en un temps donné, voire avec un profil de variation imposé.

Les méthodes de l'automatique offrent donc la possibilité de modifier le comportement statique et dynamique d'une grandeur physique, afin qu'elle évolue conformément aux exigences de l'application.

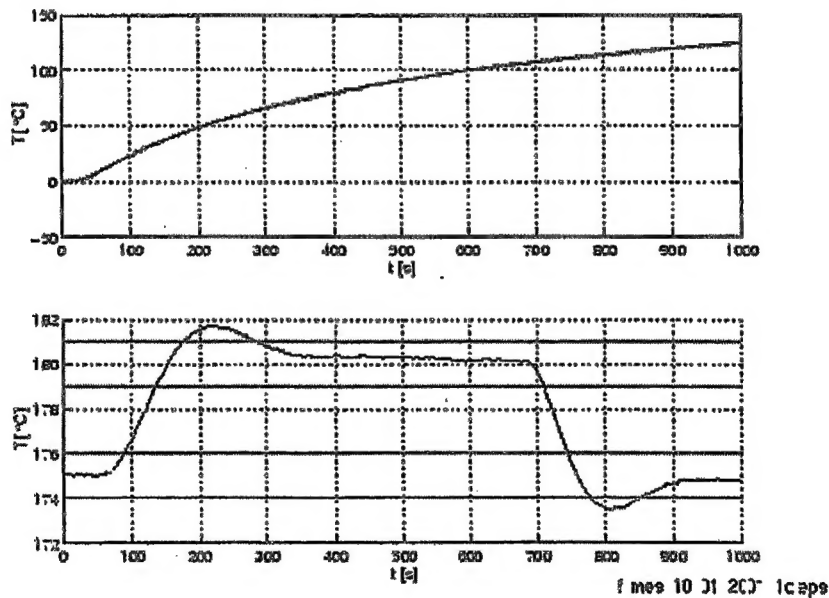


Figure: Régulation de la température d'un processus industriel: en haut, la réponse indicielle du système seul, en bas la réponse indicielle en régulation automatique. On voit que l'on arrive à rendre le système beaucoup plus rapide

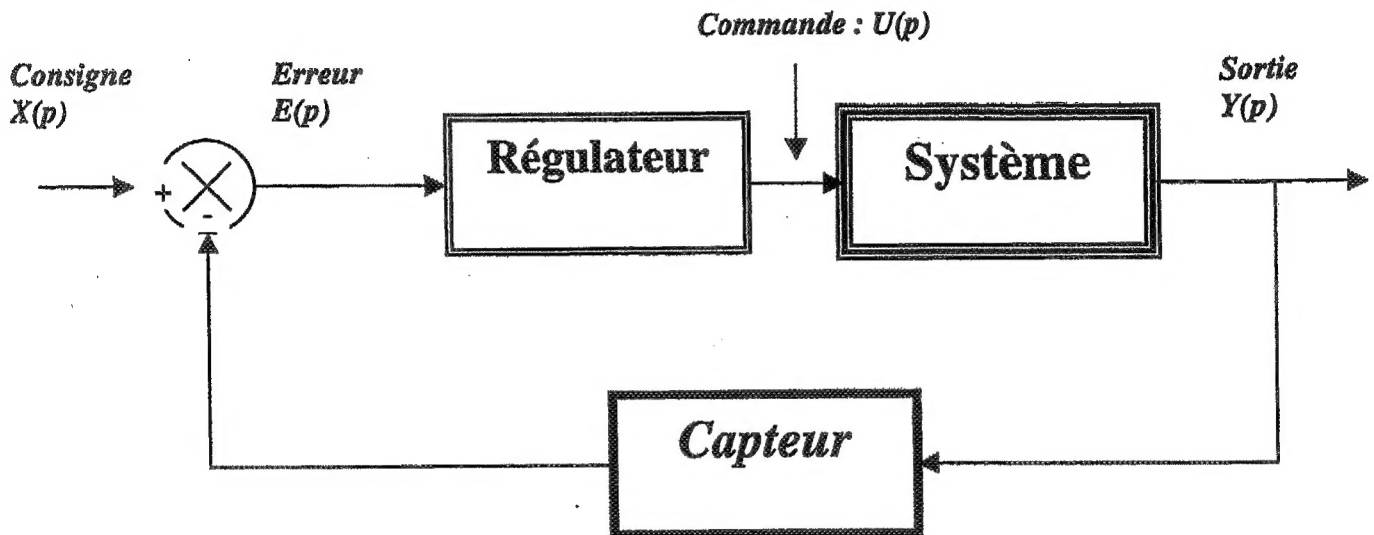
En s'appuyant notamment sur la technique de la contre-réaction, les méthodes de l'automatique permettent de traiter des situations où interviennent des systèmes

- intrinsèquement lents devant être rendus plus rapides (figure);

- difficilement contrôlables manuellement (sustentation et lévitation magnétique, avion de chasse à voilure inversée) devant être rendus stables afin d'être utilisables.

Les applications de la régulation automatique se trouveront donc dans tous les systèmes dont une (ou plusieurs) grandeur physique doit correspondre à une valeur prescrite (température, pH, débit, pression, courant, vitesse, force, altitude, profondeur, orientation, etc), laquelle pouvant être variable, et cela sans intervention humaine, i.e. de manière complètement automatique.

La figure classique schématisant une boucle est la suivante

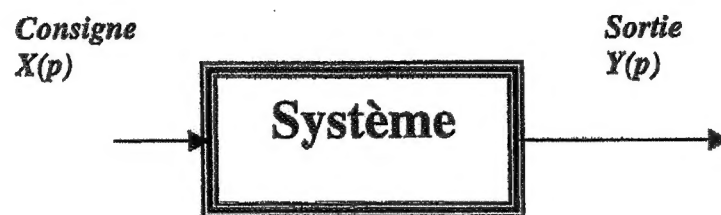


Les manipulations/expérimentations

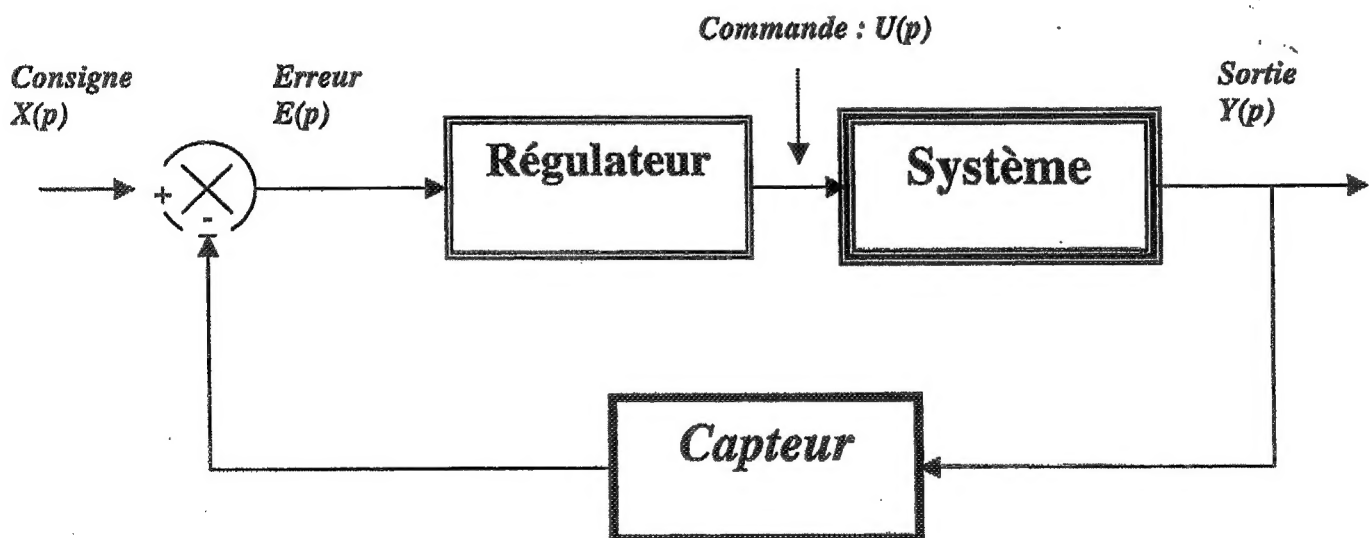
Comme c'était mentionné précédemment, vous avez à faire la même manipulation sur tous les types de systèmes. Ce qui diffère, ce sont les caractéristiques des systèmes eux-mêmes et en conséquence le type de régulateur. Nous aurons à travailler au niveau abstraction sur tous les systèmes en utilisant la simulation : les systèmes seront représentés par des modèles mathématiques exprimés sous forme d'équations différentielles ou de fonctions de transfert.

Toutes les manipulations se basent sur deux expériences majeures

- l'étude et l'analyse du système en boucle ouverte schématisé par la figure suivante



- L'étude et l'analyse du système en boucle fermée ; le régulateur peut être analogique ou numérique dépendant de la manipulation.



II. Résumé sur les manipulations à faire (Celles ci seront détaillées pour chacune d'elle).

1. Se familiariser avec le système : il s'agit de connaître le fonctionnement du système
2. Identifier les variables les plus importantes correspondantes aux entrées sorties du systèmes : niveau de bac, température, vitesse, position et également les mesures correspondantes (sorties capteurs)
3. Expérimentation en boucle ouverte : il sera demandé d'exciter le système en mode échelon et observer la sortie. Tracer la réponse temporelle (l'évolution de la sortie) sur table traçante ou imprimante selon la manipulation à faire
4. Identification : Identifier le modèle du système c-à-d trouver la fonction de transfert du système à partir du tracé.
5. validation du modèle : Pour cela, simuler le système et comparer la réponse réelle et la réponse simulée ; corriger le modèle jusqu'à obtention de réponse quasi similaire
6. Commande en boucle fermée : Aborder la commande en boucle fermée en utilisant un régulateur PID (commandes Proportionnelle, Intégrale, Dérivée) . Commencer progressivement par une commande P, puis PI puis PID
7. Réponse fréquentielle : cette partie peut se faire dans certaines manipulations dans la partie (3). Observer la réponse du système en faisant varier la fréquence, trouver la bande passante et la fréquence de résonance.

Toutes les conclusions doivent être validées par les tracés et éventuellement prouvées si nécessaire. Tous les tracés obtenus feront partie du compte rendu et numérotés pour être référencés dans le texte du compte rendu

CAO AUTOMATIQUE et SYSTEMES

Université Toulouse II
IUT-B/Dept MI

Travaux pratiques-Automatique

TP No. 1

**TOUT CE QUE VOUS VOULEZ SAVOIR SUR
L'AUTOMATIQUE SANS
PAR LA PRATIQUE**

Objectif : Maîtriser le cycle de vie de développement d'un système automatisé continu :

- * Techniques et concepts de base
- * Techniques avancées
- * Maîtrise d'un outil CAO

Ce TP est le travail de base et servira pour le reste des autres TP. l'outil CAO sera utilisé à chaque séance des autres TP en cas de nécessité (simulation, synthèse de commande, tracé de Bode etc ...)

Le cycle de vie étant :

ANALYSE DES BESOINS

--> MODELISATION

--> ANALYSE DU SYSTEME

--> SYNTHESE DE LA COMMANDE

--> ANALYSE CONJOINTE COM./SYS

L'étude concernera principalement les systèmes linéaires d'ordre n ($n=1,2,...,4$)

Les outils CAO serviront aux autres TP (régulation de niveau, asservissement, simulation analogique, robotique)

Rappel : dans ce TP on fera abstraction du type de technologie associée au système et à la commande; cependant, on étudiera plusieurs types de systèmes à partir de l'obtention de leurs

modèles (Thermique, Mécanique, Hydraulique, Electrique, informatique et systèmes discrets annexes).

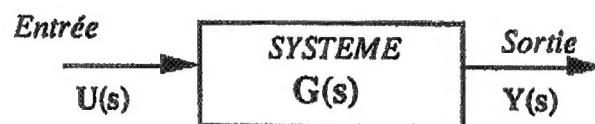
L'analyse du système suppose de déterminer expérimentalement (voire théoriquement si demandé) les propriétés du pont due vue temporelle (temps de réponse, stabilité, temps de réponse, amortissement, ..) et fréquentielle (fréquence d'oscillation, bande passante, fréquence de résonance, marge de gain et de phase)

N.B : Le TP est constitué de plusieurs parties : A l'issue de chaque partie, des questions seront posées sur le travail effectué.

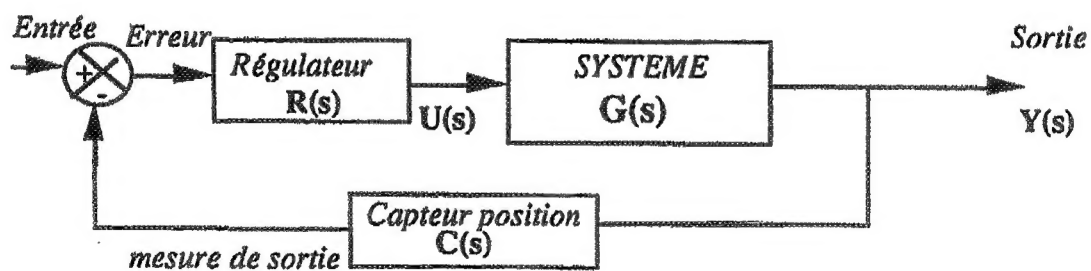
Vu les objectifs assignés, il est impératif que le cours associé soit connu et que les supports de cours soient disponibles pendant la séance.

I. Présentation du TP :

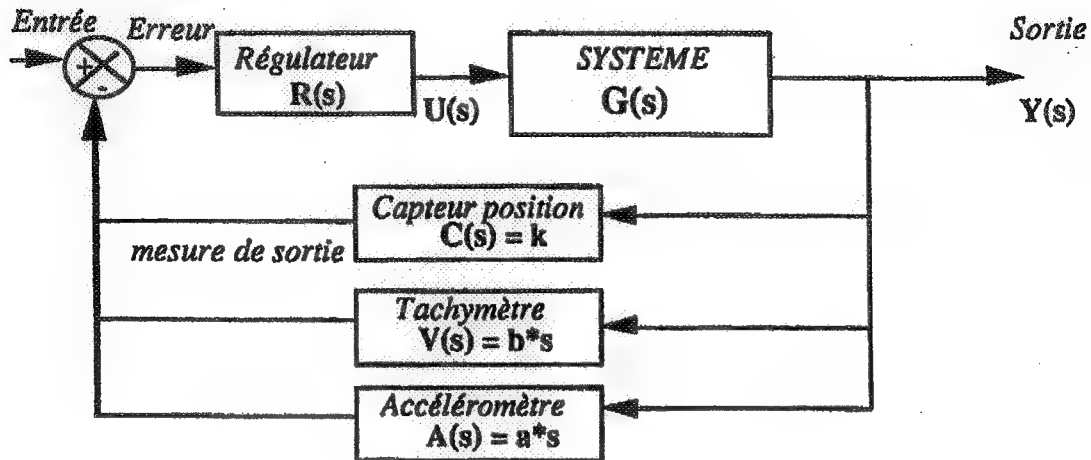
Ce travail reflète la partie fondamentale dans la commande des systèmes : Analyse et synthèse de commande. On considère chaque type de procédé, on modélise ou bien on identifie le système afin d'obtenir son modèle. A partir de ce modèle, on fera l'analyse en boucle ouverte et fermée avec un correcteur correspondant. Le schéma bloc en boucle ouverte est sous la forme



Le système en boucle fermée est sous la forme



quelquefois on fait plusieurs retours en plus du retour de position (retour de vitesse voire d'accélération), ainsi on est amené à ajouter deux autres capteurs (tachymètre pour la vitesse et accéléromètre pour l'accélération).



II. Etude des systèmes (1er, 2ème ordre) à l'aide de l'outil CAO :

(On dispose de trois outils CAO : CC, TUTSIM, MATRIX)

Voir en annexe, le manuel d'utilisation

2.1 Analyse temporelle et fréquentielle

Obtenir le diagramme de Bode d'un système du 1er ordre

$$G(s) = K/(T \cdot p + 1)$$

et la réponse temporelle en boucle ouverte et en boucle fermée

2.1.1 Considérer T constant et faire varier K (3 à 4 valeurs suffisent)

2.1.2 Considérer K constant et faire varier T

2.1.3 Conclure sur les effets du gain K et de la constante de temps T

2.2 Analyse de la stabilité

2.2.1 Considérer le système $G(s) = 1/s$

obtenir la réponse temporelle

2.2.2 Conclure (justifier théoriquement) et proposer une solution

2.2.3 Idem pour le système $G(s) = 1/(s-3)$

2.3 Analyse d'un système du 2ème ordre

Un système du 2ème ordre est régi par une équation différentielle ordinaire d'ordre 2. Trois paramètres caractérisent ce type de système (voir cours) : K , ζ , ω (Gain, taux d'amortissement, fréquence naturelle d'oscillation)

$$G(s) = K/(s^2 + 2*\zeta*\omega*s + \omega^2)$$

2.3.1 K, ζ constants quelle est l'influence de ω sur les réponses temporelle et fréquentielle

2.3.2 K, ω constant quelle est l'influence de ζ (0,2,1,5)

III. Etude du régulateur PID (Proportionnelle Intégrale Dérivée)

3.1 On considère un système du 2ème ordre (paramètres à 1) et on souhaite voir les effets des actions du régulateur sur la réponse temporelle. Faites le calcul de la transmittance à l'aide de l'outil (fonction BUILD) pour chacune des actions P, PI, PID

3.2 Etudier ce système en boucle fermée avec une action Proportionnelle.

3.3 Idem avec une action Proportionnelle Intégrale : PI

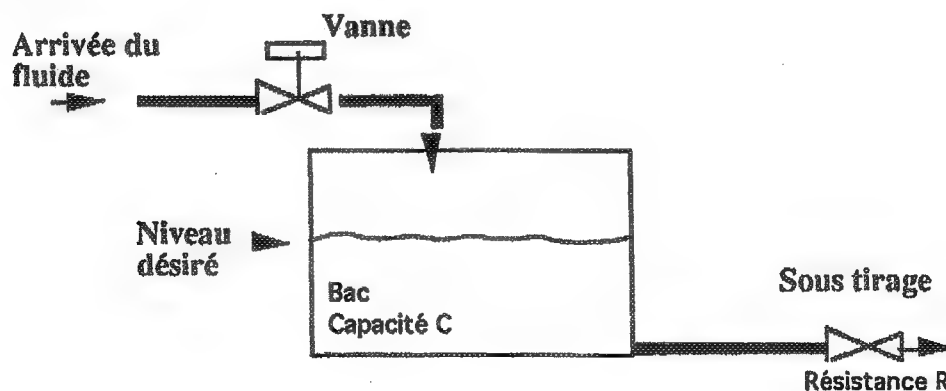
3.4 Idem avec une action PID

3.5 Conclure

IV. Etude d'un système hydraulique

(cet exemple fera l'objet d'un TP spécifique sur des maquettes)

4.1 Présentation du système et modèle associé: on considère le remplissage d'un bac. Ce procédé est largement utilisé dans l'industrie chimique et pétrochimique et est schématisé par la figure suivante



Le modèle $G(s) = N(s)/Q(s) = R/(R \cdot C \cdot s + 1)$ (R: résistance de la vanne de sortie, C: capacité du bac). Pour les objectifs du TP, fixer une valeur au produit RC.

$N(s)$: Niveau du bac (variation autour du point de fonctionnement)

$Q(s)$ débit d'entrée (variation)

4.2 Etude du système en boucle ouverte. Analyser la réponse temporelle du système

4.3 On considère une commande en boucle fermée (capteur de niveau : transmittance $C(s) = 2$ (volts/m), l'actionneur (vanne) est un système du second ordre (fixer les valeurs à 1)

Quelle est la réponse du système

4.4 On compte ajouter un régulateur dont la fonction de transfert (transmittance) est à déterminer. Justifier expérimentalement le choix du régulateur.

V. Asservissement d'un moteur électrique en vitesse et position

(cet exemple fera l'objet d'un TP spécifique sur des maquettes)

La fonction de transfert d'un moteur (entrée : tension, sortie : vitesse) est

$$G(s) = K/(T \cdot s + 1)$$

5.1. Quelle est la fonction de transfert du système si on veut avoir la position en sortie

5.2 Etudier la stabilité du système

5.3 proposer une solution et l'expérimenter

5.4 Faire un retour tachymétrique et observer le comportement du système

5.5 Conclure

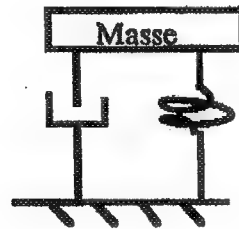
VI. Synthèse de commande d'amortissement (exercice amusant)

On considère le cas le plus connu : stabiliser une masse à une position donnée. On prend un objet de masse M,

si on le lâche il tombera : *évident !!*



Pour le stabiliser il faut et il suffit de mettre un amortisseur et un ressort : *évident !!*



Le prouver : *est ce évident ?*

La réponse est OUI avec une approche automatique

- 6.1. Obtenir la relation entre le déplacement d'une masse et la force de gravitation (loi de Newton ($F=M*\gamma$) sous forme d'équation différentielle.
- 6.2. Obtenir la fonction de transfert $G(s) = X(s)/F(s)$ (X : déplacement , F : force)
- 6.3 Faire un retour de position et de vitesse
- 6.4 Obtenir la fonction de transfert en boucle fermée
- 6.5 Conclure en faisant la correspondance entre retour de position \leftrightarrow Ressort et le retour tachymétrique \leftrightarrow amortisseur (frottement sec).

La plupart des systèmes (cas de stabilisation de satellites sont asservis avec retour de position et vitesse; le retour de position ne suffit pas dans beaucoup de cas)

VII. Commande d'un système thermique

On considère un système de chauffage (entrée : débit gaz et sortie température du produit) avec régulation (retour de température et du gradient de celle ci.

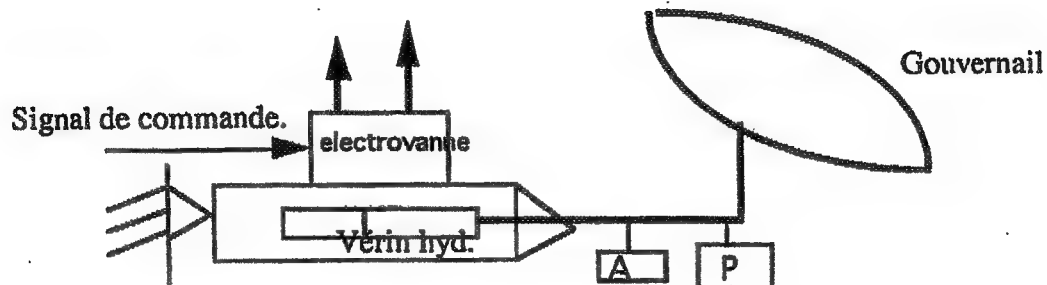
7.1 La fonction de transfert simplifiée $G(s) = 10/[s*(s+1)]$.

en boucle fermée avec retour de température uniquement, le coefficient d'amortissement est de 0.137 et la fréquence naturelle 3.16 rad/s Quelle doit être le coefficient du gradient pour que le coefficient d'amortissement soit ramené à la valeur 0.5

7.2 Vérifier votre résultat expérimentalement

VIII. Commande avionique

On considère la commande de gouvernail asservi par l'intermédiaire d'une electrovanne schématisé comme suit



La fonction de transfert du système est

$$G(s) = K/[s*(s^2 + 2*\zeta*\omega*s + \omega^2)]$$

$\omega = 100$, $\zeta = 0.02$ qui est un système trop sous-amorti, pour cela en plus de retour de sortie (capteur P), on fait également un retour d'accélération (capteur d'accélération : A)

- 8.1. Trouver le schéma bloc correspondant
- 8.2. Etudier le comportement temporel sans le retour d'accélération
- 8.3. Etudier le système en lui ajoutant un accéléromètre
- 8.4. Comparer les deux résultats et conclure.

9. Autres techniques (dépend de l'avancement du cours ATS)

9.1 Utiliser la technique du lieu d'Evans (lieu des racines sur un système de 2ème ordre)

9.2 Utiliser le diagramme de Nyquist pour l'étude la stabilité d'un système avec deux zéros positifs (système du 3ème ordre)

ANNEXE

COMMANDES COURANTES (UTILISATION DE L'OUTIL CAO CC)

L'utilitaire HELP est en ligne pour les autres commandes (également disponibles pendant la séance)

Description du logiciel BUILD :

Ce logiciel permet la spécification ou le calcul des fonctions de transfert (continues si on travaille avec CC, discrètes si on travaille avec DIG) par son expression.

Exemple :

CC > Build

Build > G=1/(1+2*s+0.5*s^2) pour décrire $F(p) = \frac{1}{1+2p+0.5p^2}$

Build > G1=G/(1+G)

pour calculer la transmittance en boucle fermée

Build > Quit

CC >

Le nom d'une fonction de transfert sera toujours G ou G_i i e N^* .

De la même façon, à partir de DIG, on construira une fonction de transfert discrète.

Attention lors de passage de CC à DIG la variable s devient z c'est à dire qu'une fonction de transfert $F(p) = \frac{K}{1+p}$ devient $F(z) = \frac{K}{1+z}$. On verra par la suite qu'il existe une fonction de CC qui calcule la transformée en z d'une fonction de transfert (la commande inverse existe sous DIG).

Principales commandes de BUILD :

QUIT Pour revenir au niveau supérieur de commande (DIG ou CC).

HELP Affiche toutes les commandes de BUILD.

DISPLAY,Gi Affiche la fonction de transfert G_i .

INTEGRATOR,Gi $G_i(s) = \frac{1}{s}$ en continu et $G_i(z) = \frac{T(z+1)}{2(z-1)}$ en discret.

2POLES,Gi, ω_n , ζ $G_i(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$, idem en discret.

2ZEROS,Gi, ω_n , ζ $G_i(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$, idem en discret.

Remarque : Toutes les commandes que nous venons de décrire, ainsi que celles que nous

Présentation de CC :

CC est un logiciel développé pour l'étude et la simulation des systèmes continus et discrets.

Il comporte deux niveaux de commandes, le niveau supérieur contenant les logiciels CC pour l'étude des systèmes continus et DIG pour les systèmes discrets. Le niveau inférieur contient les logiciels BUILD, pour la saisie des fonctions de transferts, MR, pour la discrétisation avec plusieurs vitesses d'échantillonnage, pour ne citer que ceux que nous sommes susceptibles d'utiliser. La figure 1 donne une vue d'ensemble de la hiérarchie de commande de CC.

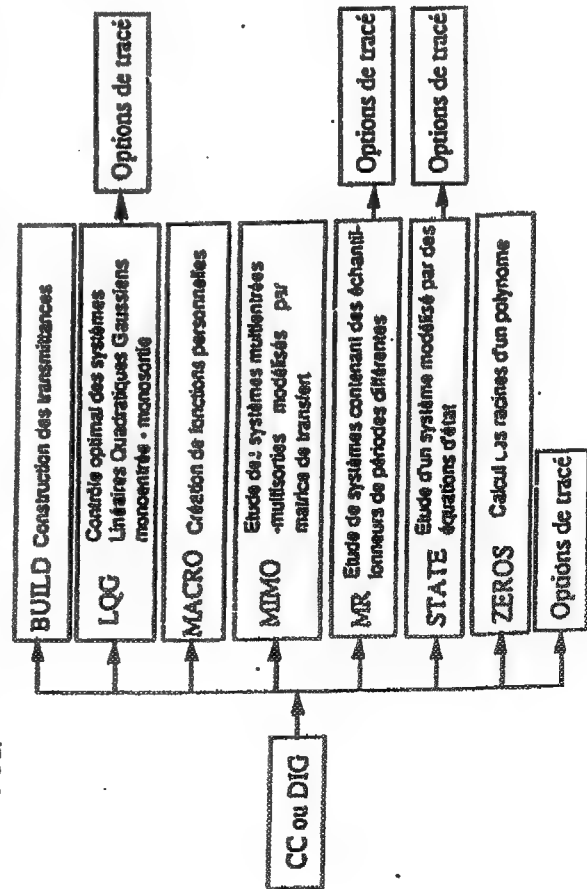


Figure 1

verrons par la suite, peuvent être utilisées de 2 façons:

- soit en passant les paramètres lors de l'appel de la fonction,
- soit en tapant uniquement le nom de la commande (caractères gras), dans ce cas un menu déroulant guidera l'utilisateur pour saisir les paramètres.

Principales commandes de CC et DIG :

DIGITAL, T Passage du mode continu au mode discret avec une période d'échantillonnage égale à T.

ANALOG Passage du mode échantillonné au mode continu.

HELP Affichage de toutes les commandes.

FREQUENCY, Gi, valeur inf. de la fréquence, valeur sup., nombre de points, option.

Crée un fichier (SSFREQ) contenant les informations fréquentielles de la fonction de transfert continue Gi. Cette commande doit être utilisée avant tout appel d'une procédure d'analyse fréquentielle (Bode, Nyquist...). L'option conduit à un tracé logarithmique lorsqu'elle vaut 0, linéaire lorsqu'elle vaut 1.

FREQUENCY, SPECIAL, Gi, valeur inf. de la fréquence, # points, # répétition, option.

Crée un fichier (SSFREQ) contenant les informations fréquentielles de la fonction de transfert discrète Gi.

Les paramètres diffèrent sensiblement par rapport au cas continu :

points = nombre de points compris entre la valeur inférieure de la fréquence et π/T .

répétition = la fréquence maximale sera égale à #répétition * π/T .

Le reste est inchangé.

BODE Etude d'un système dans le plan de Bode.

NYQUIST

Etude d'un système dans le plan de Nyquist.

NYQUIST INVERSE

TIME, Gi, Type, AUTO

Simule le système décrit par la fonction de transfert Gi.

Type = 1 => Réponse en boucle fermée à un échelon de commande.

Type = 2 => Réponse impulsionnelle en boucle fermée.

Type = 3 => Réponse en boucle ouverte à un échelon de commande.

Type = 4 => Réponse impulsionnelle en boucle ouverte.

DTIME, Gi, type, AUTO

Commande équivalente pour les systèmes discrets.

ROOTLOCUS, Gi, AUTO, "Titre du graphique"

Tace le lieu de racine de la fonction de transfert Gi.

CONVERT, Gi, Gj, Option, T

Discretise Gi(p) par une des 10 techniques proposées, passe au mode Digital et retourne le résultat dans Gj(z).

Parmi les 10 techniques de discrétisation proposées, nous ne présenterons que celles qui nous intéresseront :

Option = 7

Transformée en z classique ($z = e^{-Tp}$).

Option = 8

Recherche de la fonction de transfert discrète de (système + bloqueur d'ordre zéro).

Option = 9

Recherche de la fonction de transfert discrète de (système + bloqueur d'ordre un).

DISPLAY, Gi

Visualise l'expression de la fonction de transfert Gi.

CLS

Efface l'écran.

KILL, SSF

Efface la fonction...

KILL,\$\$*

Efface toutes les fonctions de transfert

STORE.Gi.Nonfich : Sauvegarde les caractéristiques de la fonction de transfert Gi dans le fichier Nonfich. Cette commande est utilisée pour représenter sur un même graphe la réponse de systèmes travaillant avec des périodes d'échantillonnage différentes.

Les commandes Time, Dtime, Rootlocus, Bode, Nyquist et Inverse Nyquist conduisent à des représentations graphiques. Un menu affiché au bas de l'écran permet alors de modifier certaines données du tracé:

OPTION>

A=Add line, C=Cursor, D=Change options, E=Change limits, H=Hardcopy
L=Label, M=50% more time, P=Plot again, Q=Quit, T=Thick lines, Z=Center

Description des commandes :

OPTION>a

Ajoute sur le même graphique l'évolution d'une autre fonction de transfert. Le choix de cette option conduit au questionnaire suivant :

Enter your choice >

1 = la nouvelle transmittance a été calculée à partir de la même période d'échantillonnage.

2 = les caractéristiques de la nouvelle transmittance sont sauvegardées sur un fichier (cette option permet de comparer les évolutions de fonctions de transfert discrètes et continues)

Un fois le choix entre ces options effectué, on devra soit préciser le nom de la fonction de transfert (option 1) soit le nom du fichier de stockage (option 2), puis la nature du trait (plein, pointillés plus ou moins espacés).

OPTION>c

Détermine les coordonnées d'un point défini par la position du curseur. Le déplacement du curseur se fait à l'aide des touches "flèche" du clavier.

OPTION>d

Le choix de cette option conduit au menu suivant :

Enter #, new value (Q to quit) >

(1) Background = 1 (0=Lines, 1=Hatch marks)

(2) Foreground = 2 (0=Lines, 1=Points, 2=Spikes, 3=Linesdots)

(3) Time axis = 0 (0=Samples, 1=Times)

(4) Plot spacing = 1 (Space between plotted samples)

Pour modifier une de ces données il faut entrer son numéro d'identification (par exemple 1 pour changer le fond), une virgule puis la nouvelle option (par exemple 0 pour avoir un fond quadrillé)

OPTION>e

Changement des caractéristiques des axes (valeur mini, valeur maxi, graduation).

Cette option conduit à un nouveau menu du même type que celui que nous venons de voir pour l'option "d". Les modifications se feront de la même façon.

OPTION>h

Recopie de l'écran sur un périphérique de sortie (imprimante ou table traçante).

OPTION>i

Permet d'insérer du texte sur le graphique.

Le positionnement du texte se fait à l'aide du curseur que l'on déplace avec les touches "flèche". Une fois la position définie, il suffit de saisir son texte puis de valider en tapant un retour chariot.

OPTION>m

Comme son nom l'indique, cette fonction permet d'augmenter de 50% la valeur maximale de l'axe des x.

OPTION>p

Cette commande permet de valider certaines modifications du tracé, comme le changement de bornes (option E).

OPTION>q

Pour quitter le graphique.

OPTION>t

Modifie l'épaisseur du trait.

OPTION>z

Modifie les valeurs Y_{\min} et Y_{\max} pour que la courbe soit centrée sur l'écran.

Asservissement de position

Asservissement de position

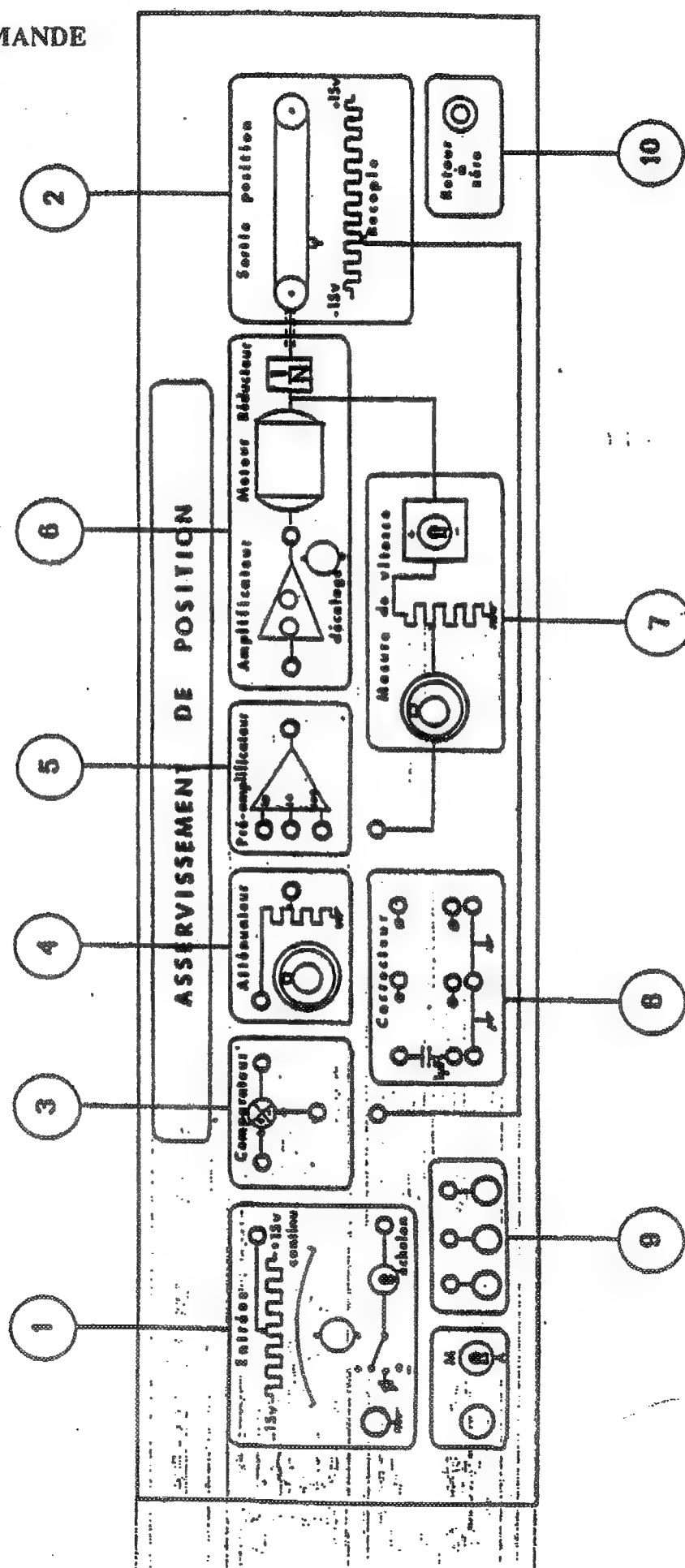
Deux maquettes sont disponibles : maquette SET et maquette Tergane

Travaux à réaliser

Après avoir compris, analysé le fonctionnement du système et bien maîtrisé les divers branchements nécessaires ; pour chaque expérience, faites valider les branchements par l'enseignant .

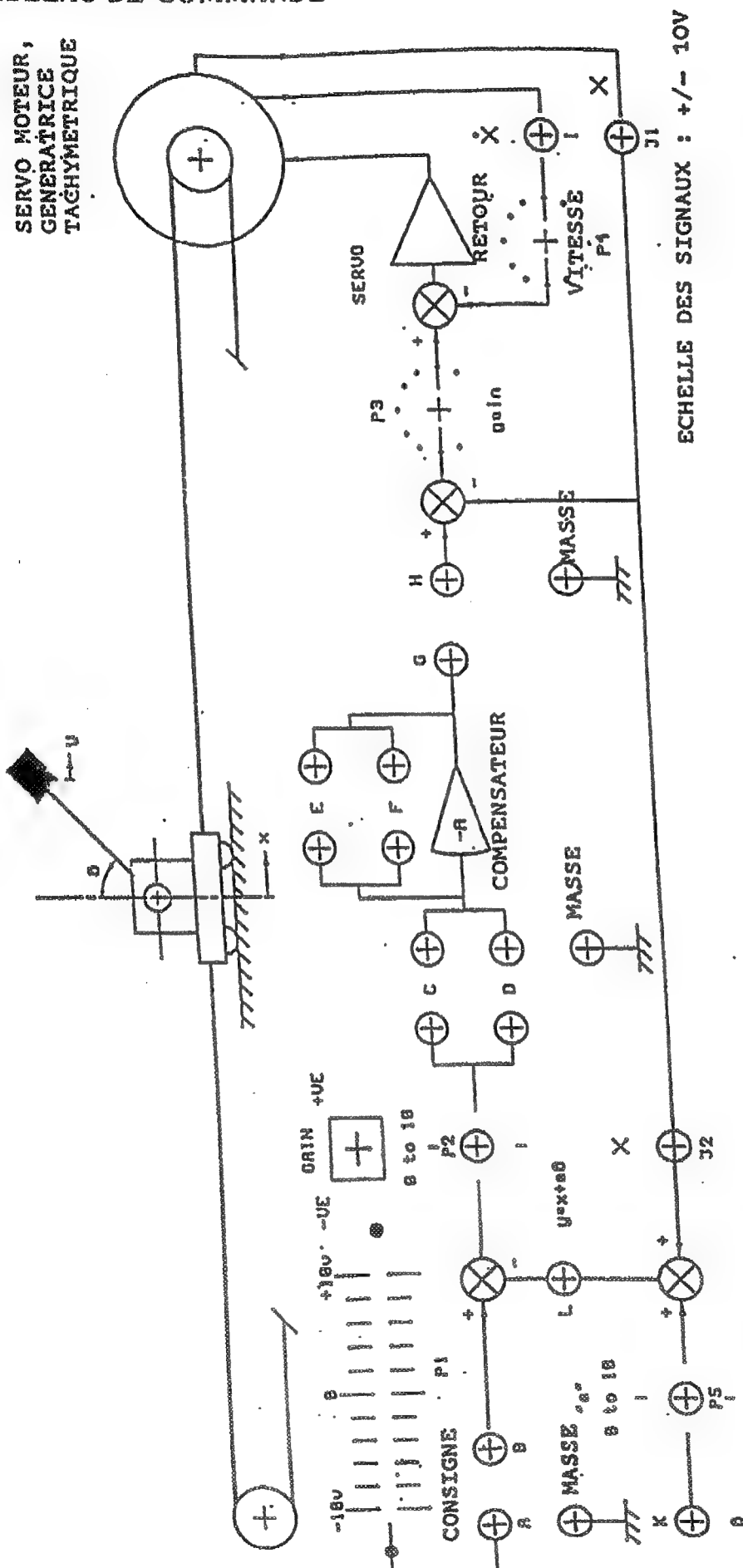
1. Identifier le système en boucle fermée ; le système SET est déjà bouclé fermée. Noter bien les paramètres des gains. Pour cela mettre le système soit en mode amorti ou sous amorti (mettre le retour tachymétrique à zéro pour le système SET et le déconnecter pour le système TERGANE)
2. Simuler le système sur le logiciel CAO et ajuster les paramètres du modèle
3. Analyse de l'hystérésis : exciter le système entre deux échelles $-V$ à V en augmentant d'un dixième et revenir de V vers moins $-V$ de la même façon et noter la position du possible à chaque valeur d'entrée. Tracer la courbe de la sortie en fonction de l'entrée. Proposer une autre méthode d'expérimentation pour visualiser l'hystérésis directement sur l'oscilloscope. Faire l'expérience et en déduire l'effet du gain sur l'hystérésis
4. Analyse et commande en boucle fermée sans retour tachymétrique : expérimenter des valeur de gains en simulation, observer l'effet du gain sur la réponse temporelle. Conclure. Qu'observe t-on lorsque le gain augmente. Noter la valeur du gain pour le lequel le système étant surmorti, devient sous amorti et vérifier également l'erreur statique
5. Analyse et commande en boucle fermée avec retour tachymétrique : fixer la valeur du gain et faire augmenter le gain du retour tachymétrique : observer la réponse et conclure
6. Faire l'expérimentation de l'analyse fréquentielle. Pour cela déterminer l'échelle de fréquence. En déduire la bande passante et la fréquentielle de résonance en notant les valeurs correspondantes des gains. Conclure

TABLEAU DE COMMANDE



TABEAU DE COMMANDE

SERVO MOTEUR,
GENERATRICE
TACHYMETRIQUE



Régulation de Niveau

BP 1.4
0.42
0.11

Régulation de Niveau

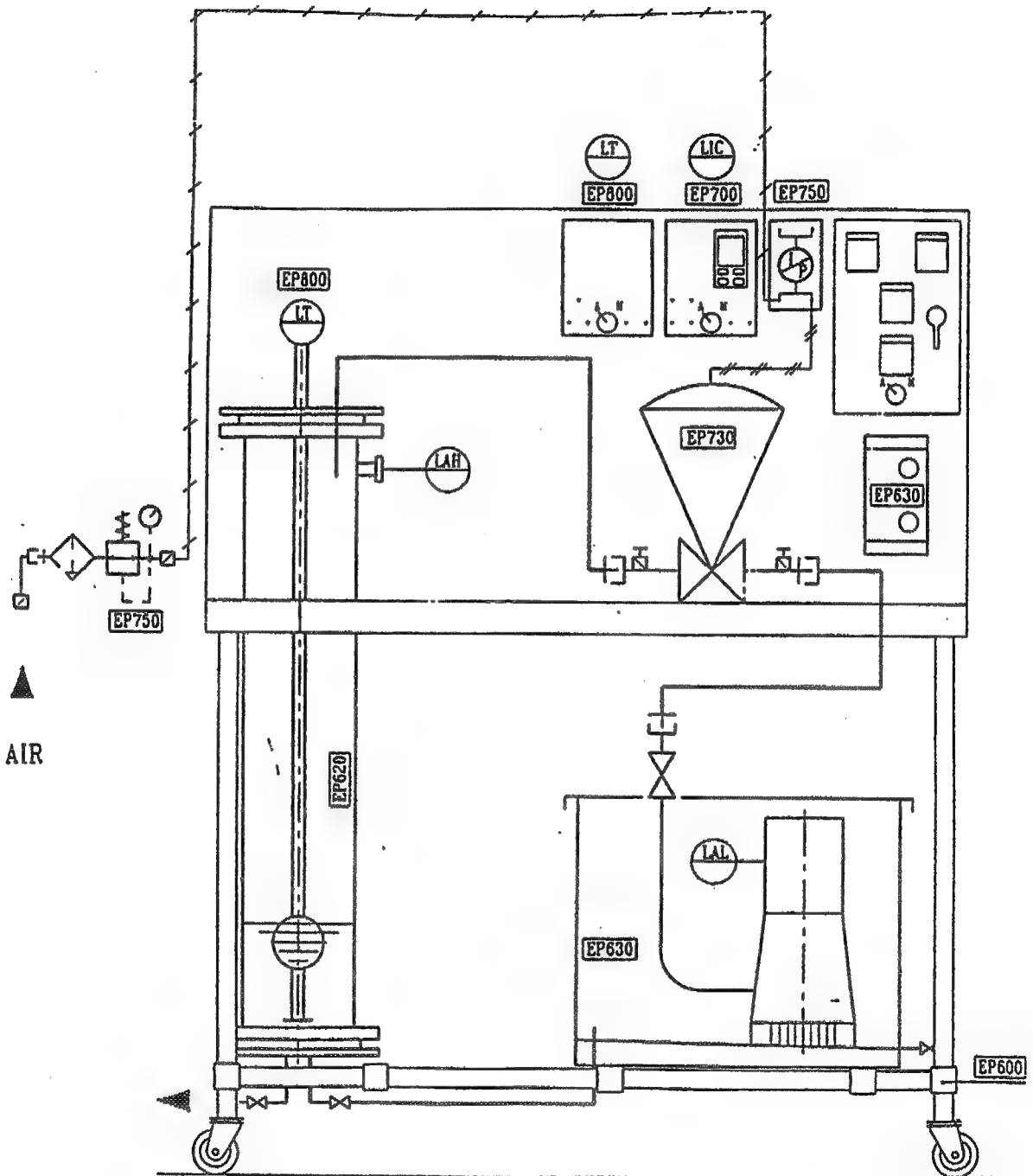
Deux maquettes sont disponibles : l'une à commande analogique (régulateur PID) ou l'alimentation en eau se fait à travers une petite pompe électrique et le débit est ajusté en agissant sur la vitesse de la pompe via la tension d'alimentation. L'autre à commande numérique (régulateur PID) où le débit est ajusté à l'aide d'une vanne de régulation pneumatique

Il est préférable d'avoir les réponses temporelles sur table traçante (à régler avant utilisation)

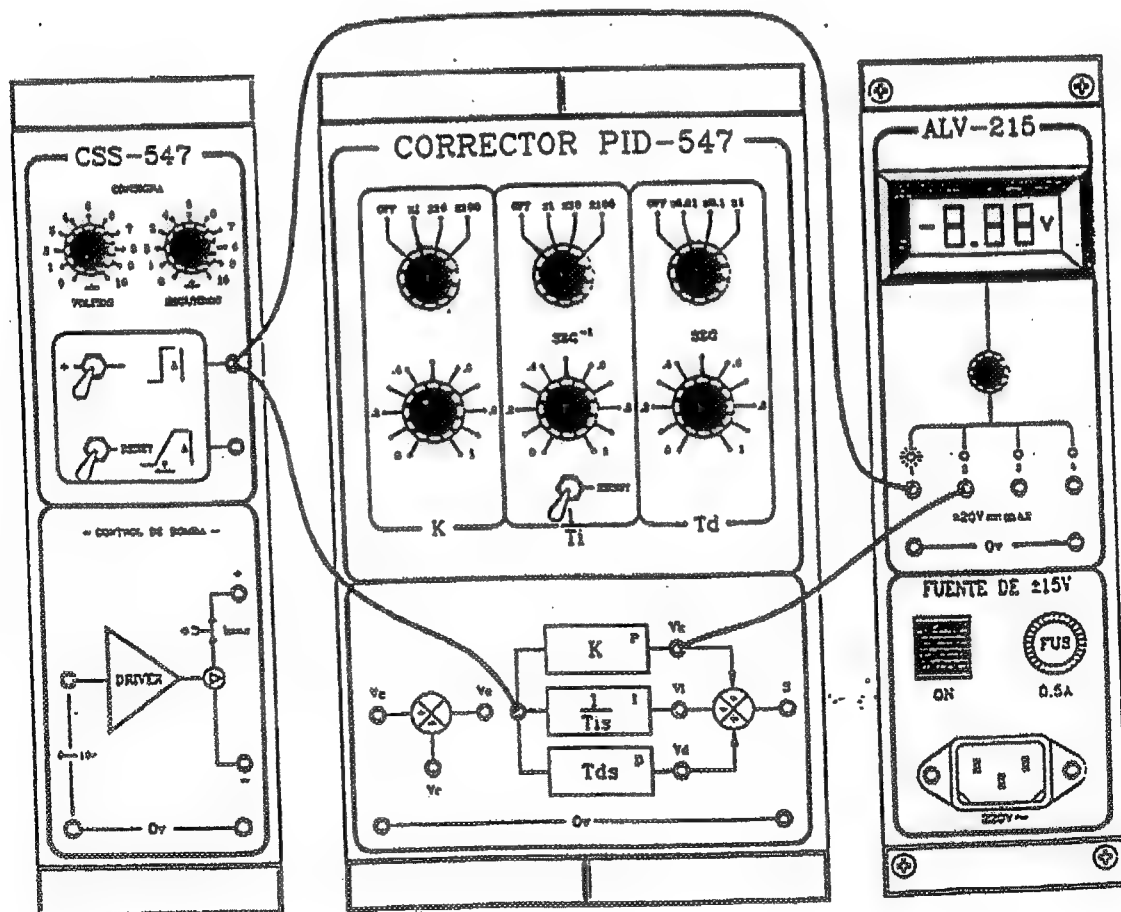
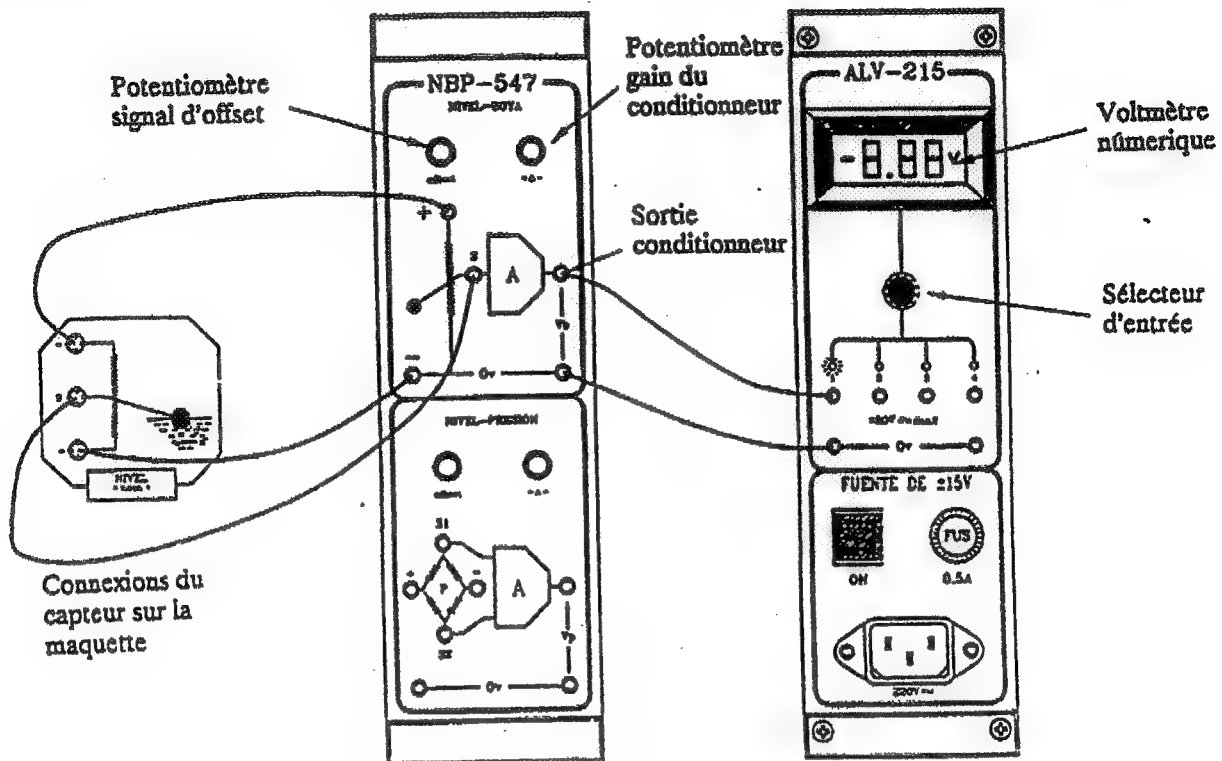
Travaux à réaliser

Après avoir compris, analysé le fonctionnement du système et bien maîtrisé les divers branchements nécessaires ; pour chaque expérience, faites valider les branchements par l'enseignant.

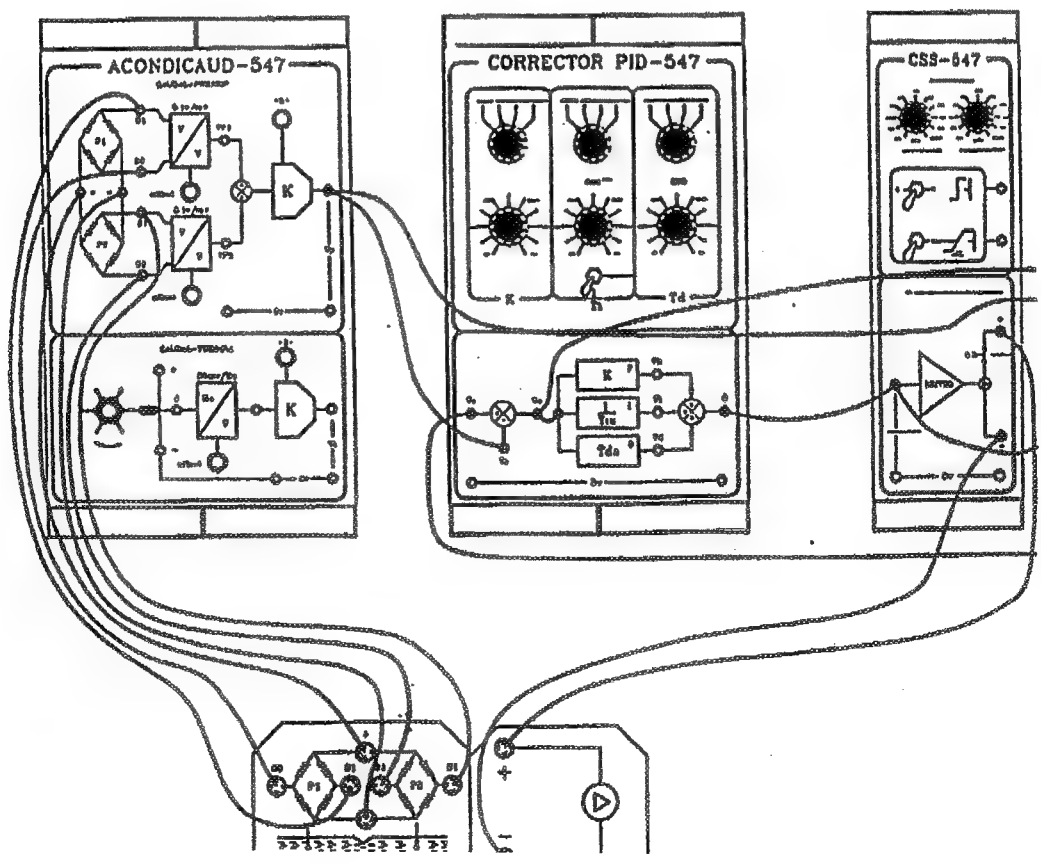
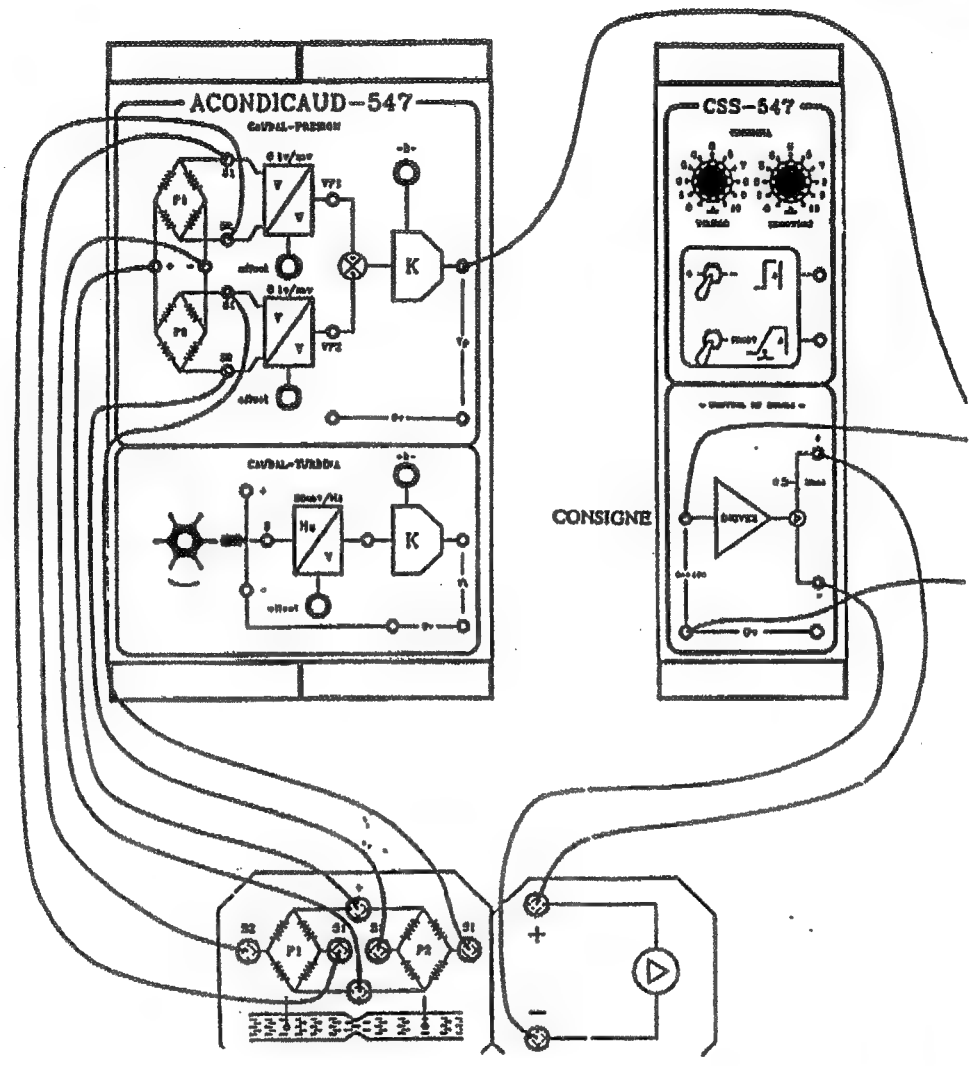
- 1 Identifier le système en boucle ouverte ; Pour cela générer une fuite et commander le système avec 50% de la valeur maximum (9 psi (0.6 bar) pour la vanne) , vérifier qu'elle est demi-ouverte, et 6 volts pour la moto-pompe. Attention il y a une zone morte (0-3volts environ) au niveau de la moto pompe ; toute entrée doit être supérieure à 3 volts (vérifier la précision de la zone morte).
- 2 Simuler le système sur le logiciel CAO et ajuster les paramètres du modèle
- 3 Analyse et commande en boucle fermée avec PID (commande P): expérimenter des valeurs du gain en simulation, observer l'effet du gain (P) sur la réponse temporelle. Conclure. Qu'observe-t-on lorsque le gain augmente. A noter que la bande proportionnelle (BP) est l'inverse du gain ; c'est la BP qui est affichée sur le régulateur numérique.
- 4 Analyse et commande en boucle fermée (commande PI): expérimenter des valeurs de gains en simulation, observer l'effet de l'action intégrale (Ti) sur la réponse temporelle. Conclure. Qu'observe-t-on lorsque l'action Ti diminue
- 5 Analyse et commande en boucle fermée (commande PID): expérimenter des valeurs de gains en simulation, observer l'effet de l'action dérivée (D) sur la réponse temporelle. Conclure. Qu'observe-t-on lorsque le gain Td augmente
- 6 Analyse et commande en boucle fermée avec retour tachymétrique : fixer la valeur du gain et faire augmenter le gain du retour tachymétrique : observer la réponse et conclure
- 7 Faire l'expérimentation de l'analyse fréquentielle de la vanne (expérimentation régulation numérique). Conclure.



BANC DE REGULATION DE NIVEAU (SUR EAU EN BOUCLE)



TP ATS



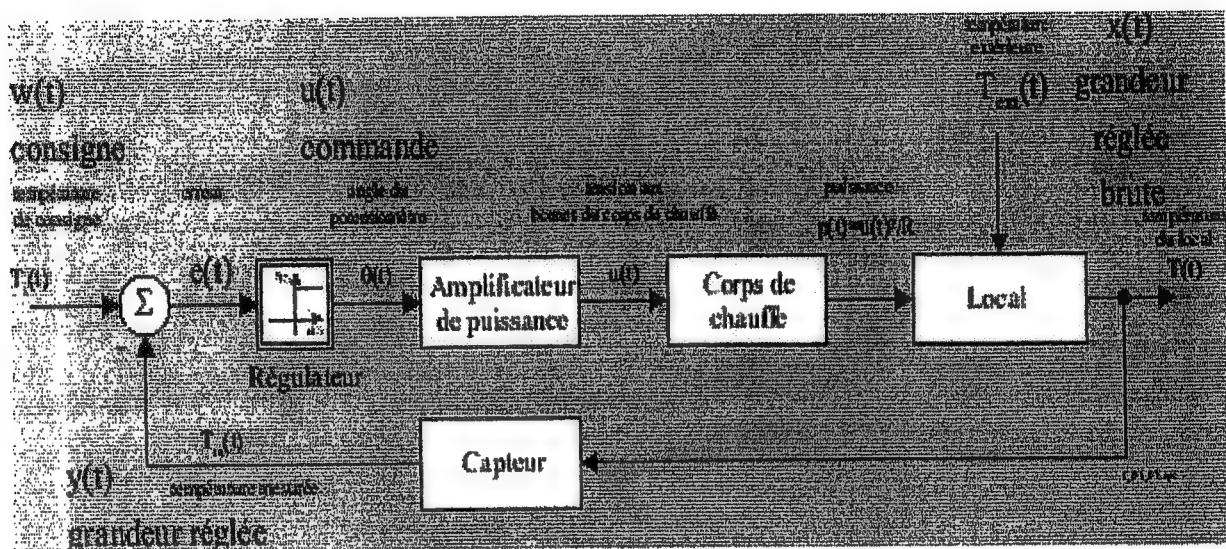
Régulation de Température

Régulation de température

(Documentation correspondante fournie séparément)

Travaux à réaliser

Après avoir compris, analysé le fonctionnement du système et bien maîtrisé les divers branchements nécessaires ; pour chaque expérience, faites valider les branchements par l'enseignant . La *patience* est de rigueur car les systèmes thermiques sont trop lents.



1. Identifier le système en boucle ouverte ;
 2. Simuler le système sur le logiciel CAO et ajuster les paramètres du modèle
 3. Analyse et commande en boucle fermée avec PID (commande P): expérimenter des valeur de gains en simulation, observer l'effet du gain (P) sur la réponse temporelle. Conclure. Qu'observe t-on lorsque le gain augmente. A noter que la bande proportionnelle (BP) est l'inverse du gain ; c'est la BP qui est affichée sur le régulateur numérique
 4. Analyse et commande en boucle fermée (commande PI): expérimenter des valeur de gains en simulation, observer l'effet de l'action intégrale (T_i) sur la réponse temporelle. Conclure. Qu'observe t-on lorsque l'action T_i diminue
- Analyse et commande en boucle fermée (commande PID): expérimenter des valeur de gains en simulation, observer l'effet de l'action dérivée (D) sur la réponse temporelle. Conclure. Qu'observe t-on lorsque le gain T_d augmente.

Simulation Analogique et Robotique

Simulation Analogique et Robotique

(ces TP seront fait en une demi-séance chacun : permutation des binômes à la pause ; ils seront remplacés partiellement par la manipulation sur la régulation de température)

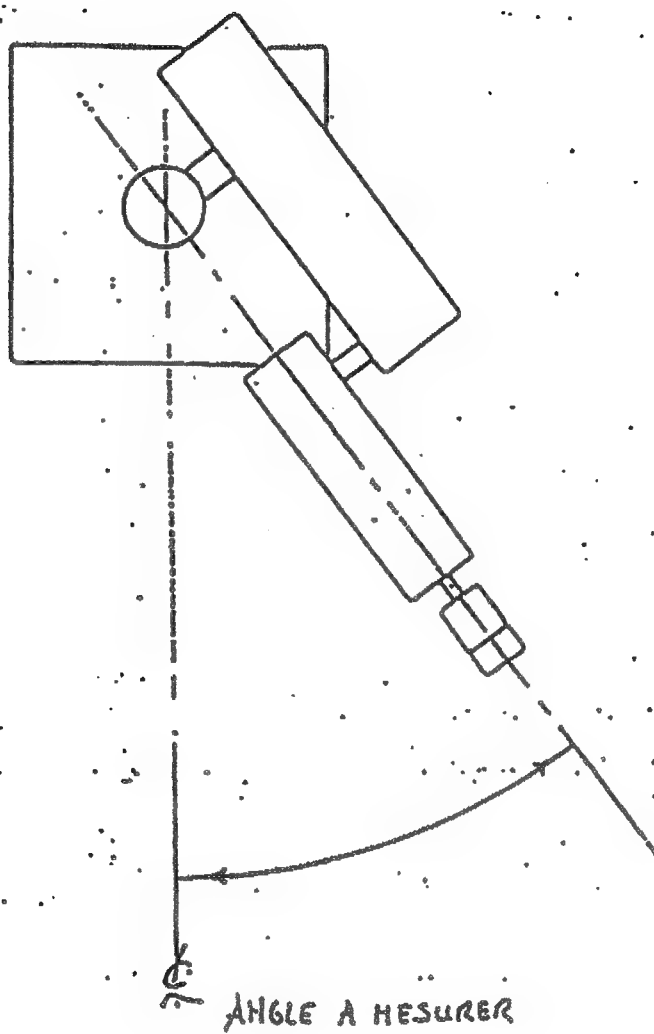
Robotique : C'est un robot à cinq degrés de liberté. Il est commandé via un logiciel dédié (sous *C:/ATS/Robot* , commande *menu*). Travaux à effectuer

- Définition de l'espace de travail
- Définition de la précision
- Programmation par apprentissage et répétabilité

Simulation sur calculateur analogique : c'est un calculateur permet de simuler des systèmes dynamiques.

Travaux à réaliser après familiarisation

- Simulation d'un système du 1^{er} Ordre
- Génération d'un signal sinusoïdal
- Simulation d'un système du 2^{ème} ordre

Figure B

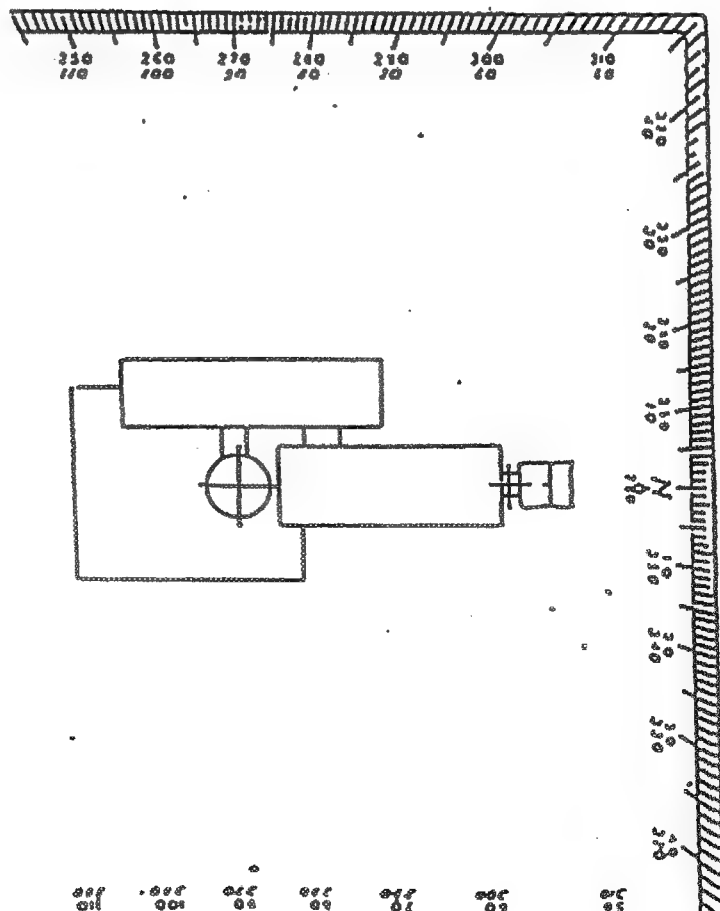
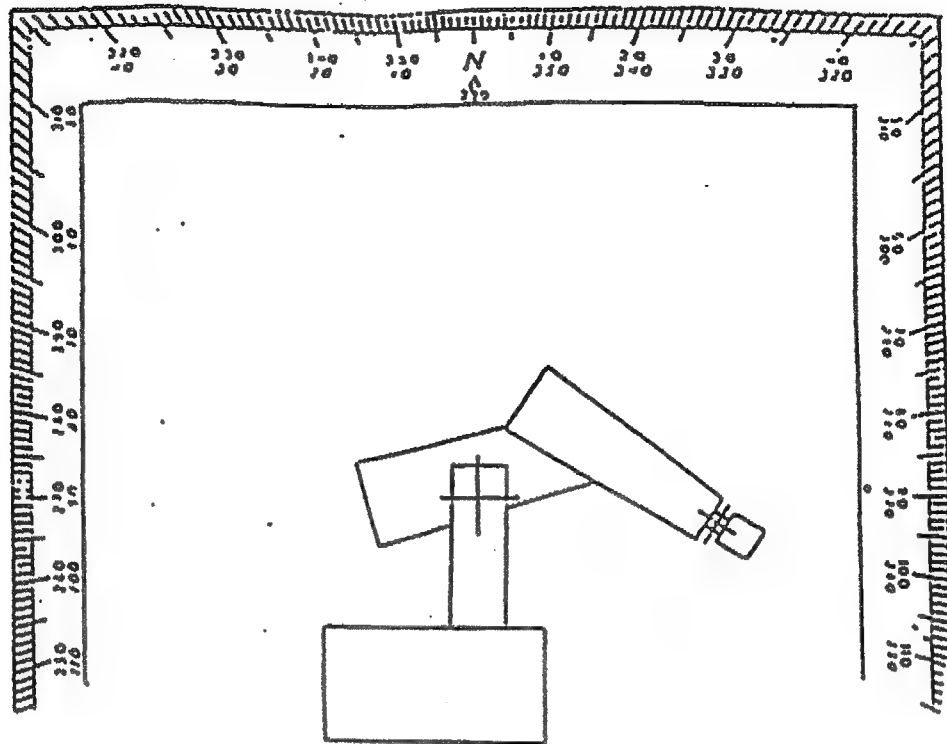


Figure D

ALL DIMENSIONS ARE IN INCHES

AXES	PREMIER ANGLE MESURÉ (DEGRÉS)	DEUXIÈME ANGLE MESURÉ (DEGRÉS)	ANGLE TOTAL
0 (TAILLE)			
1 (ÉPAULE)			
3 (COUDE)			
ÉLEVATION DU POIGNET			
ROTATION DU POIGNET			

Figure C bis

Le calculateur analogique EAI-1099, produit par "Electronic-Associates-Inc", se veut un outil à vocation pédagogique de résolution d'équations différentielles et non linéaires.

Cette documentation ne se veut nullement exhaustive. Elle constitue en soi une présentation générale des possibilités de l'EAI 1990 pour son utilisation pratique immédiate.

Pour de plus amples renseignements, notamment quant à la maintenance, aux moyens d'extension, le lecteur est prié de s'en remettre aux ouvrages suivants :

- "EAI-1000 Reference and Maintenance Manual"
- "EAI-1000 Hybrid Control Interface"
- "EAI-1000 Digital Coefficient Alternator"
- "EAI-1000 Primer on Analog Computations and Examples for EAI 1000 series of computers"

Afin de faciliter la lecture des documents écrits en langue anglaise, les termes techniques principaux seront donnés entre parenthèses.

1.1. - Le panneau de câblage : (Patch panel)

- Le panneau est composé de haut en bas de :
 - Une zone d'affichage (Display panel)
 - Deux modules analogiques (Field 0 and Field 1) numérotés champ 0 et champ 1.
 - Zone signaux logiques et réglage du "mode" REP.
- les dix boutons de réglage à droite du champ 1 (P_0 à P_9) concernant les potentiomètres du même champ.

1.1.1.2. - La zone d'affichage : (Display panel)

[illegible]

- La ligne F02 de la zone de saturation (OVERLOAD) ne sert pas. Signa-
lons simplement que le système modulaire permet de monter jusqu'à
trois unités.
- La saturation d'un opérateur survient lorsque sa valeur dépasse 1.300
en valeur absolue. Dans ce cas, le voyant rouge correspondant s'allume

- La précision du cadran de lecture est de 10^{-3} .

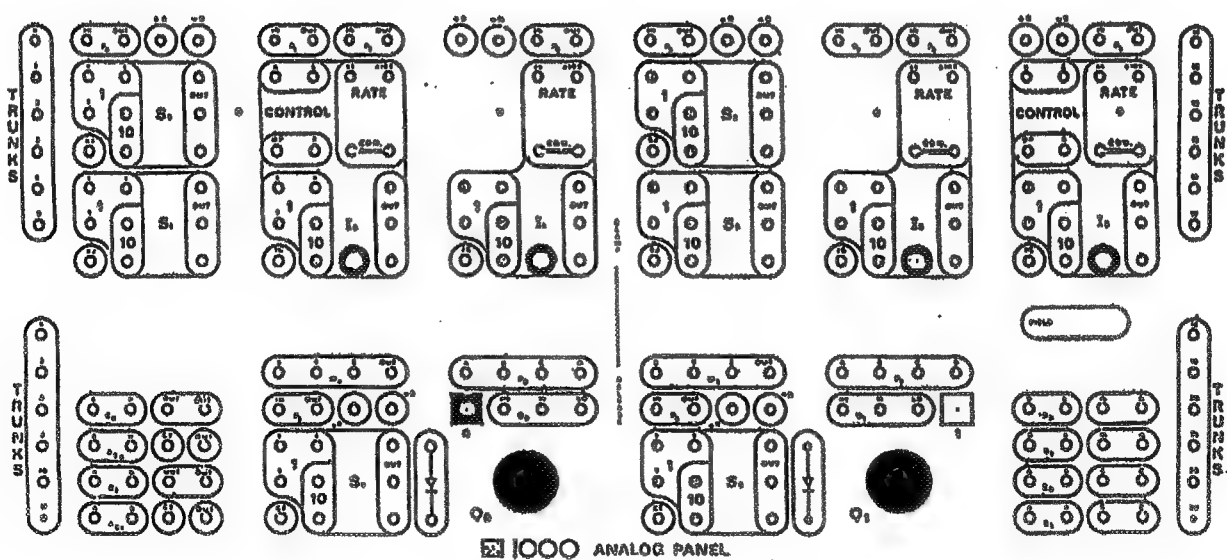
1.1.3. - Les modules analogiques : (Analog patch panel)

- Voir figure ci-contre
- L'unité machine vaut : 1 U.M. = 5 volts
On peut trouver ± 1 U.M. aux plots marqués +R ou -R.
- 0 et 1 désignent des 0 et 1 logiques.
- Bien que cela ne représente pas de danger pour le calculateur, il n'est pas recommandé de relier la logique aux opérateurs analogiques ou vice-versa.

- Sur chaque opérateur (Sommateurs ...), les entrées sont signalées en vert, et les sorties en rouge.

1.1.4. - Zone signaux logiques

- On n'explicitera que les plots aménagés au départ.
Sont donc exclus des plots tels que XT₀ à XT₇, UT₈ à UT₂₃, AMP₀ à AMP₅, P, X, Ag, Dg, qui servent à la liaison aux périphériques ou au branchement esclave-maitre avec un autre EAI 1000.
- L₀-L₁ : sont de simples indicateurs. Des bornes réceptrices qui s'alimentent lorsque l'entrée vaut 1 (logique).



ANALOG PATCH PANEL

Key to Computing Elements:-

S ₀₋₃	Summer	P ₀₋₉	Grounded Potentiometer	F ₀₋₁	Free Function
S ₄₋₅	Summer Stores	Q ₀₋₁	Ungrounded Potentiometer	D ₀₋₁	Flip Flop
I ₀₋₃	Integrator	C ₀₋₁	Comparator	G ₀₋₁	Gate
M ₀₋₁	Multiplier	A ₀₋₁	Analog Switch		

88

- S₀ - S₁ : des bornes émettrices de 0 ou 1 logique selon la position de la manette.
- A - A : voir (4.3.2.)
- O V L : (overload) : borne émettrice, active basse, qui se met à 0 lorsqu'une saturation d'un quelconque opérateur survient.
- H L D : borne réceptrice, active basse qui déclenche le mode HOLD lorsqu'un 0 (logique) apparaît à l'entrée.
- D'ad l'intérêt de rajouter la borne OVL à HLD.
- RAMP : déclenche, à l'apparition du mode OP, une rampe analogique pour guider l'axe horizontal d'un oscilloscope ou d'une table traçante.

1.2. - Le clavier : (keyboard)

EAI				
	A	INC	DEC	FST
				REP
F	T	7	8	9
				HLD
P	M	4	5	6
				OP
Q	S	1	2	3
				IC
C	I	0	CLR	RST
				PS

- HLD, OP, IC, REP : servent au déclenchement des modes correspondants (voir 4.3.2.).

- CLR (Clear) : détruit la dernière instruction entrée.

- RST (Reset) : provoque le redémarrage du programme du microprocesseur. Annule tous les ordres précédents.

- A, F, T, P, M, Q, S, C, I : touches sélection de fonctions (voir à 4.)

- A : (Analog Switch) Aiguillage analogique
- F : (Free Function) Fonction laissée libre
- T : (Trunk) Lignes interpanneau
- P : (Potentiometer) Potentiomètre
- M : (Multiplier) Multiplieur
- Q : (Ungrounded pot) potentiomètre non mis à la masse
- S : (Summer) Sommateur
- C : Fonction servant à l'affichage des potentiomètres numériques.
- I : (Integrator) Intégrateur

Note : F n'est pas aménagée.

- INC, DEC : incrémentation et décrémentation. Sert au défilement des opérateurs. On peut presser brièvement ou maintenir la pression.

Note : FST (Fast) n'est pas aménagée.

- PS (Pot.Set) : sert au réglage manuel ou à la lecture des coefficients concernés (Q_{xy} ou P_{ix})

2. - MISE EN ROUTE ET INITIALISATION

- Le bouton de mise en route est situé à l'arrière du calculateur. Ainsi, les hautes tensions ne présentent pas de danger pour le manipulateur.
- Avant toute utilisation, dès la mise en route, il est recommandé d'initialiser le microprocesseur au moyen de la touche RST du clavier.

3. - LES MODES DE FONCTIONNEMENT

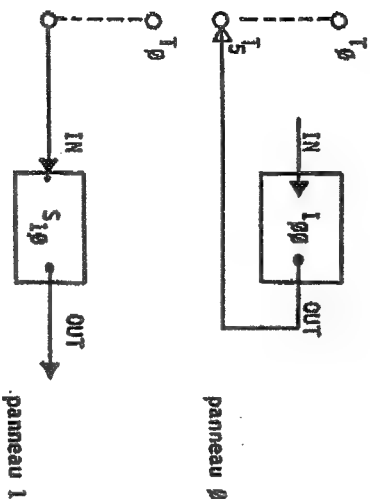
- Pour les trois modes HLD, IC, OP, et le pseudo-mode REP, se reporter au (4.3.2.).

4. - LES OPERATEURS ANALOGIQUES

4.0. - Les lignes analogiques inter-panneaux (T : Trunk-lines)

Le système de connexions internes $T_0 - T_{23}$ sert à transporter un signal d'un panneau à un autre dans le cas de calculateurs munis de plus d'un panneau.

Exemple :



Les lignes T_0 à T_{11} et T_{20} à T_{23} sont adaptées aux liaisons avec les périphériques (entrées et sorties) tels que : tables traçantes, oscilloscopes, etc....

4.1. - Diodes

Il s'agit de diodes classiques qui servent à des montages spécifiques (voir exemples en annexe et multiplieurs).

4.2. - Potentiomètres

Symbole : P : potentiomètre mis à la masse (Grounded)

Q : potentiomètre non mis à la masse (Ungrounded pot).

- Chaque module analogique (Fields 0 et 1) est muni de dix P (P_0 à P_9) et de deux Q (Q_0 et Q_1).

- Leurs valeurs sont à fixer entre 0 et 1. (voir .999).

4.2.1 - Potentiomètres à affichage numérique

- Les P du module supérieur (Field 0 : P_{00} à P_{09}) sont à affichage numérique (DCA : Digital Coeff. Attenuator).

Exemple de procédure (set) :

• Objet : mettre le potentiomètre n°3 du champ 0, donc P_{03} , à la valeur 0.584 (qu'on note .584).

• Procédure : Appuyer sur les touches [2] [0] [3] pour se placer sur le potentiomètre voulu, la valeur actuelle (nulle après Reset) s'affiche, puis sur [5] [8] [4] .

4.2.2 - Potentiomètres à réglages manuels

- Tous les autres potentiomètres (Q_0 , Q_1 , P_{10} à P_{19} , Q_{10} et Q_{11}) sont à réglage manuel direct au moyen des boutons du panneau.

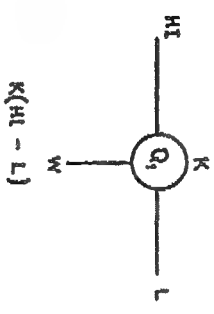
Exemple de procédure :

• Objet : mettre P_{18} à la valeur 0.782

• Procédure :

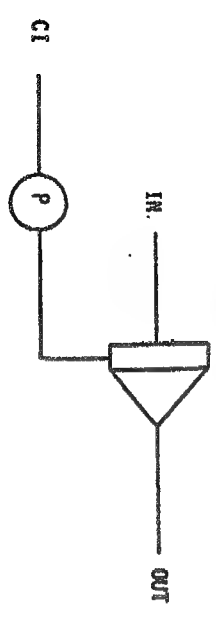
- Se placer sur le potentiomètre désiré : appuyer sur [2] [1] [8]

- Appuyer sur **PS** (Pot. Set) et maintenir la pression pendant le réglage. Cette action déconnecte tous les potentiomètres du tableau et envoie sur U.M. à leur borne d'entrée (on se place ainsi en SET POT. MODE).
- A l'affichage apparaît alors la valeur actuelle du potentiomètre.
- La valeur désirée s'obtient en tournant le bouton concerné. (Pg pour P 18).



4.2.3. - Notes

- Pour rentrer la condition initiale (CI) dans un intégrateur, l'utilisation d'un Q n'est pas recommandée.



- La valeur des P_{01}, \dots, P_{0g} , lesquels sont à affichage numérique, peut être lue (uniquement) de la même manière en appuyant sur **PS** puis **X**.
- Il n'est pas possible de passer de C \emptyset_x à C \emptyset_y par l'action des touches **INC** et **DEC**.

4.3. - Les intégrateurs : I

4.3.1. - Aspect général

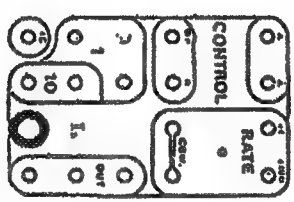
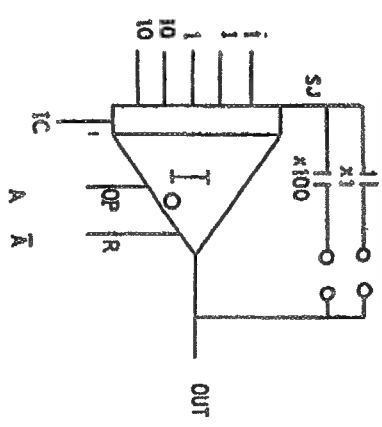


Diagramme fonctionnel



- Chaque intégrateur est muni de :

- . 3 entrées à gain unité (Zone I)
- . 2 entrées à gain 10 (Zone IO)
- . 3 sorties (Zone OUT)
- . 1 entrée à gain unité pour la condition initiale (IC)
- . 1 taux d'intégration temps réel (X1) de 1 volt/sec
- . 1 taux d'intégration (X100)

- Les intégrateurs I_0 et I_3 de chaque champ sont, de plus, munis d'une zone CONTROL permettant leur contrôle externe (voir 4.3.3.2.).

4.3.2. - Les trois modes

Les ^{OP}intégrateurs opèrent dans les trois modes suivants :

1 - Mode HOLD : (gel)

Tous les intégrateurs sont disconnectés intérieurement. La valeur de sortie est celle atteinte à l'instant d'apparition du Mode Hold.

2 - Mode IC : (condition initiale)

Les intégrateurs acceptent les CI et affichent, du fait du changement de signe, l'opposé ou se mettent à zéro si aucune condition initiale n'existe à l'entrée.

3 - Mode OP :

C'est le mode opérationnel : l'intégrateur intègre les grandeurs d'entrée.

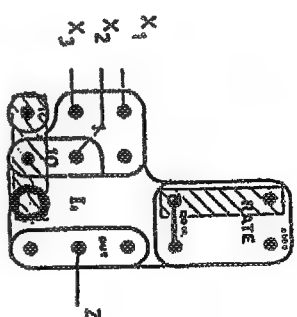
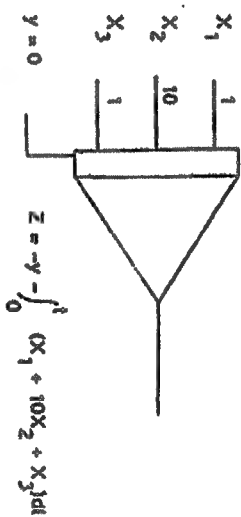
- Dans le cas du "mode" REP, les modes IC et OP sont enclenchés de manière alternative à un taux fixé par le réglage de période (voir les deux boutons en bas à droite du panneau). Ce mode sert notamment dans des situations de solutions multiples avec ajustement de paramètres pour recherche d'optimum.

- Note : les signaux logiques A et \bar{A} sont liés à ces modes. A est attaché au mode OP et \bar{A} au mode IC. Ils sont en outre "actif bas", c'est-à-dire :

	A	\bar{A}	
OP	0	1	A seul actif
IC	1	0	\bar{A} seul actif
HOLD	1	1	A et \bar{A} non-actifs

4.3.3. - Différentes configurations d'utilisation

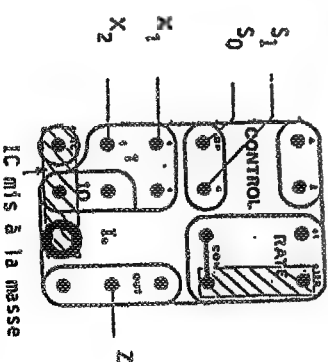
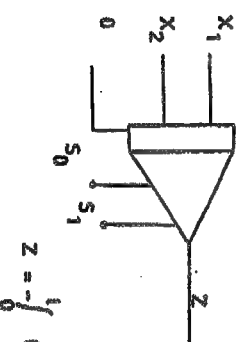
4.3.3.1. - Utilisation en intégrateur temps réel :



4.3.3.2. - Exemple d'utilisation avec contrôle externe

- Réserve aux intégrateurs I_0 et I_3 de chaque champ.
- OP et R sont les bornes réceptrices (signaux actifs bas) qui conditionnent l'état de l'intégrateur.
- En temps normal, A et \bar{A} étant reliés à OP et R respectivement, au moyen des courts-circuits rigides (patch plugs), l'intégrateur est régi par les modes HOLD, IC et OP (éventuellement REP).

- Pour l'utilisation avec contrôle externe.
Il importe donc de retirer ces courts-circuits rigides

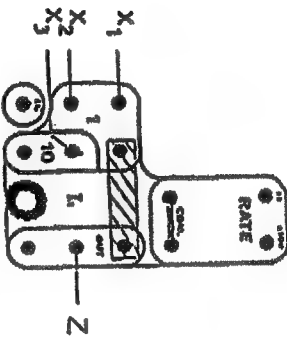


lorsque $S_0 = 0$ et $S_1 = 1$
- On a remise à zéro (puisque ici IC = 0) lorsque S_1 passe à 0.

- Notes : le contrôle logique externe peut bien sûr être assuré par d'autres signaux logiques que S_0 et S_1 .

R prime sur \mathcal{O}^* : dans l'exemple cité, c'est zéro qui s'affiche si S_0 et S_1 sont nuls, c'est-à-dire actifs, tous deux.

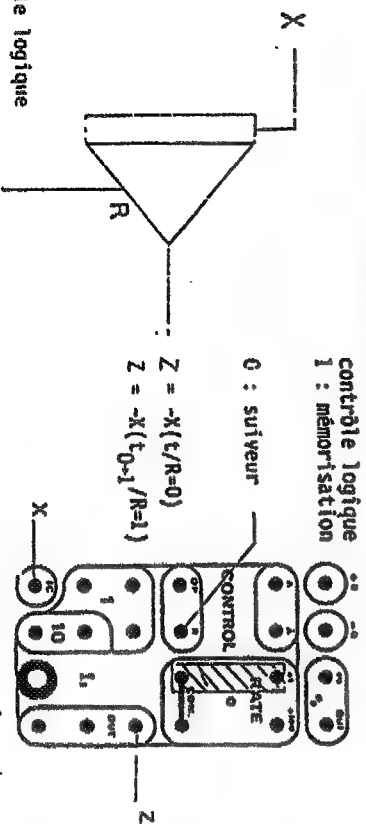
$$Z = -\sum X_1 + X_2 + 10X_3$$



- Notes : - Retirer le court-circuit du taux d'intégration (Zone RATE)
- Il faut se placer en mode OP.
- Si on place le retour entre OUT et une entrée 10 on a :

$$Z = - \frac{x_1 + x_2 + 10x_3}{10}$$

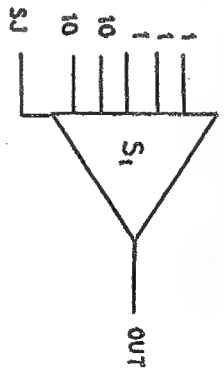
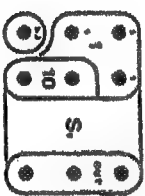
4.3.3.4. - Utilisation en track-store : T/5



4.4. - Les sommateurs - S

- Lorsque X passe de 0 à 1, la sortie Z conserve l'opposé de la valeur atteinte par l'entrée X au moment du passage du signal logique.

4.4.1. - Aspect général



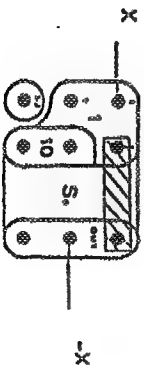
Programme fonctionnel

- les sommateurs S_0 & S_3 (champ 0 et 1) possèdent :

- 3 entrées à gain unitaire
- 2 entrées à gain (X_{10})
- 1 jonction

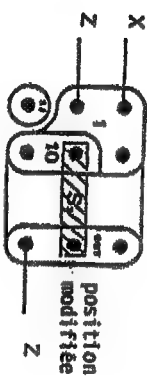
- Pour toute application, le court-circuit rigide doit être mis en place, le cas du gain pré-règle constituant la seule exception.

4.4.2. - Utilisation en l'ovateur :



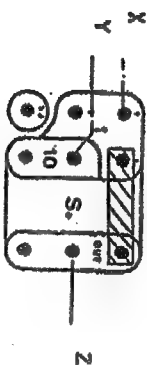
4.4.3. - Utilisation avec gain (X 1/10)

Page

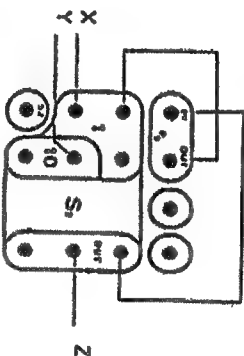
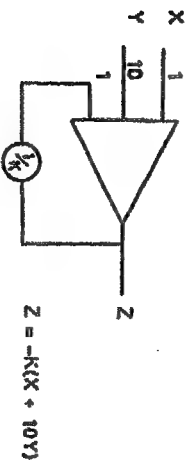


Note :  représente le court-circuit rigide.

4.4.4. - Utilisation la plus commune

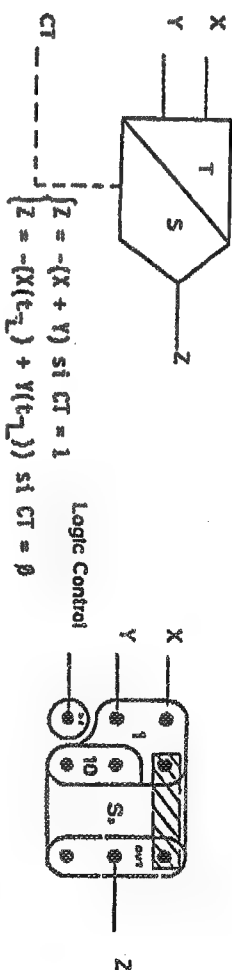


4.4.5. - Utilisation avec gain pré-régulé



4.4.6. - Utilisation en Track-Store

- Elle n'est possible qu'avec les sommateurs S_4 et S_5 des champs 0 et 1.
- Le signal logique est actif bas.



- Si CT = 1, le T/S se comporte en sommateur classique.

- Au passage de 1 à 0 du contrôle logique, la sortie est mémorisée.

4.5. - Les multiplieurs : $M_0 - M_1$

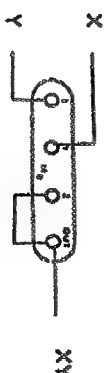
4.5.1. - Aspect général



Diagramme fonctionnel



4.5.2. - Utilisation en multiplieur



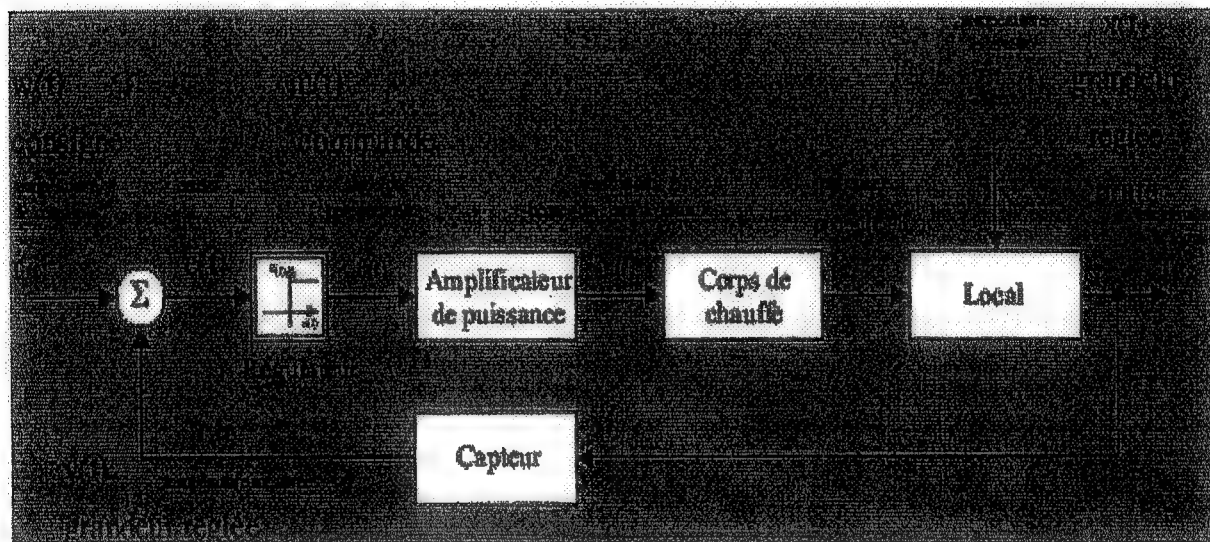
ANNEXES

Régulation de température

(deux maquettes : régulation analogique et régulation numérique)

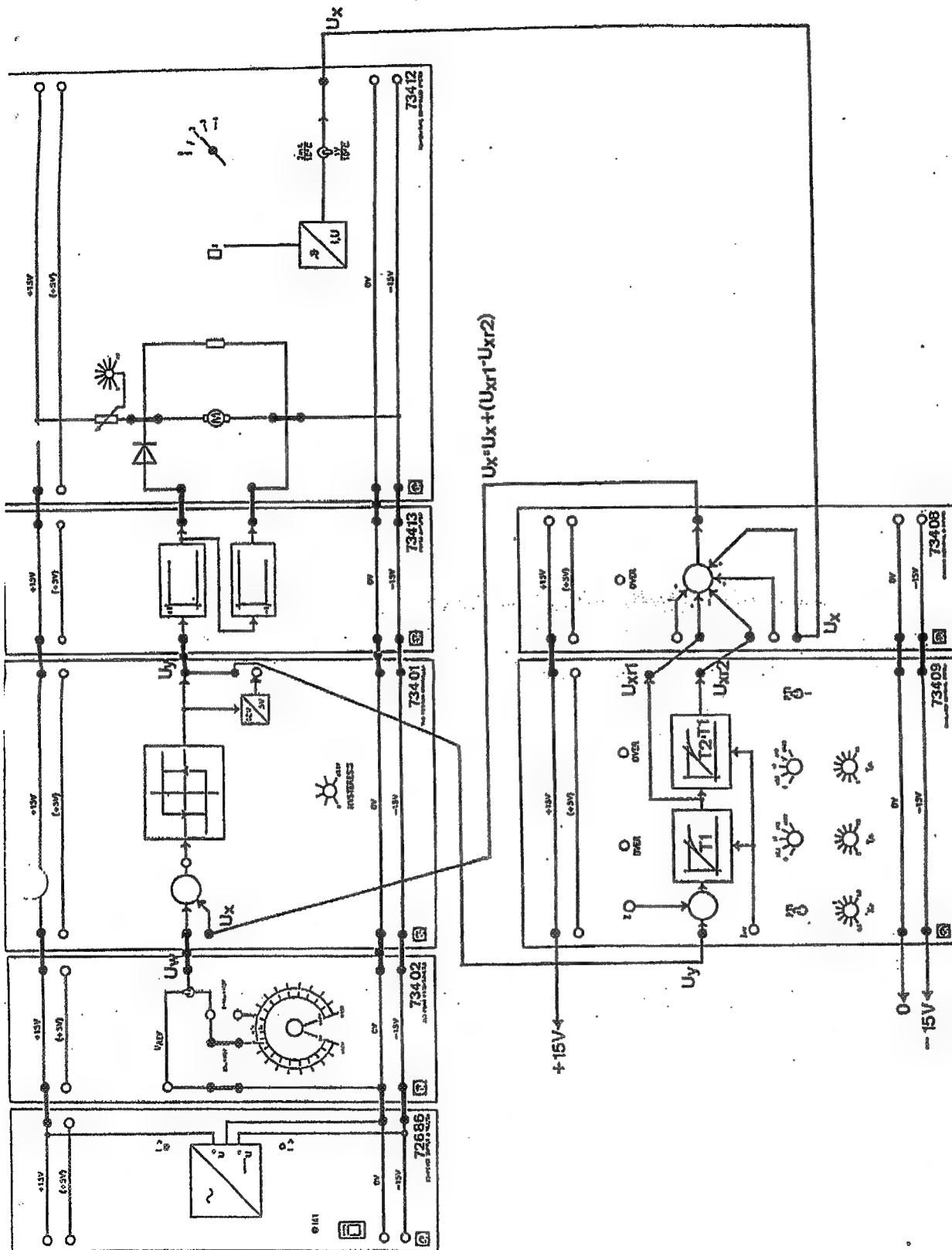
Travaux à réaliser

Après avoir compris, analysé le fonctionnement du système et bien maîtrisé les divers branchements nécessaires ; pour chaque expérience, faites valider les branchements par l'enseignant . La *patience* est de rigueur car les systèmes thermiques sont trop lents.



Les systèmes thermiques sont très lents et donc faire attention aux consignes. L'initialisation prend également du temps car remettre le système à une température initiale prend également du temps ; on conseille de prendre des consignes pas trop importantes.

1. Identifier le système en boucle ouverte (étape optionnelle)
 2. Simuler le système sur le logiciel CAO et ajuster les paramètres du modèle
 3. Analyse et commande en boucle fermée avec PID (commande P): expérimenter des valeur de gains en simulation, observer l'effet du gain (P) sur la réponse temporelle. Conclure. Qu'observe t-on lorsque le gain augmente. A noter que la bande proportionnelle (BP) est l'inverse du gain ; c'est la BP qui est affichée sur le régulateur numérique
 4. Analyse et commande en boucle fermée (commande PI): expérimenter des valeur de gains en simulation, observer l'effet de l'action intégrale (Ti) sur la réponse temporelle. Conclure. Qu'observe t-on lorsque l'action Ti diminue
- Analyse et commande en boucle fermée (commande PID): expérimenter des valeur de gains en simulation, observer l'effet de l'action dérivée (D) sur la réponse temporelle. Conclure. Qu'observe t-on lorsque le gain Td augmente.



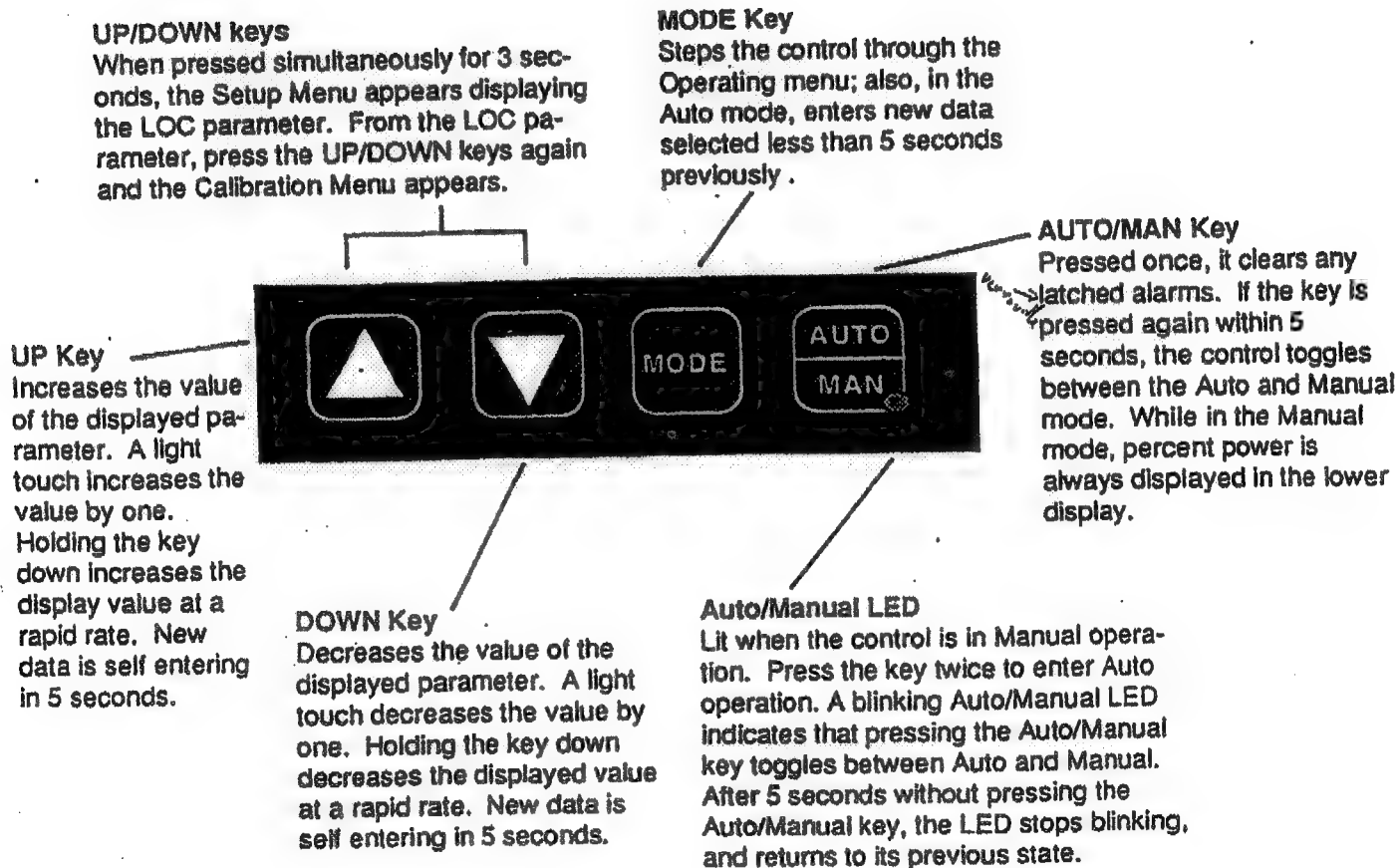
3 Régulateur tout ou rien avec contre-réaction adaptée (PID) en régulation de température



Keys/Displays

Series 980/985 Keys

Figure 27 -
Series 980/985 Keys



Where To Go From Here

Now that you know how to read the keys and displays, continue to Chapter 4 to begin entering data and setting up your Series 980/985.

Setup

Chapter 4

How To Setup The Series 980/985

NOTE:

While in the Setup menu, all outputs are OFF.

Setting up the Series 980/985 is a simple process. First configure the 980/985's features to your application in the Setup Menu, and then enter values in the Operating Menu. Both tasks use the MODE key to move through the menus and the UP/DOWN keys to select data.

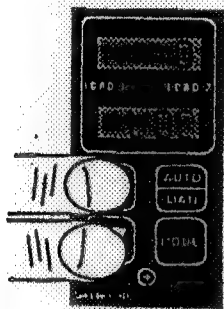


Figure 27 - Entering the Setup Menu.

Entering the Setup Menu

The Setup Menu displays the parameters that configure the Series 980/985's features to your application.

To enter the Setup Menu, press the UP and DOWN keys simultaneously for 3 seconds. See Figure 27. The Lower display shows the LOC parameter, and the Upper display shows its current level. All keys are inactive until you release both keys. You can get to the LOC parameter from anywhere.

Use the MODE key to cycle through the menu; use the UP/DOWN keys to select Setup data. You may not see all the parameters in this menu, depending on the unit's configuration and model number. After stepping through the menu, you will return to the control set point parameter under the Operation menu.

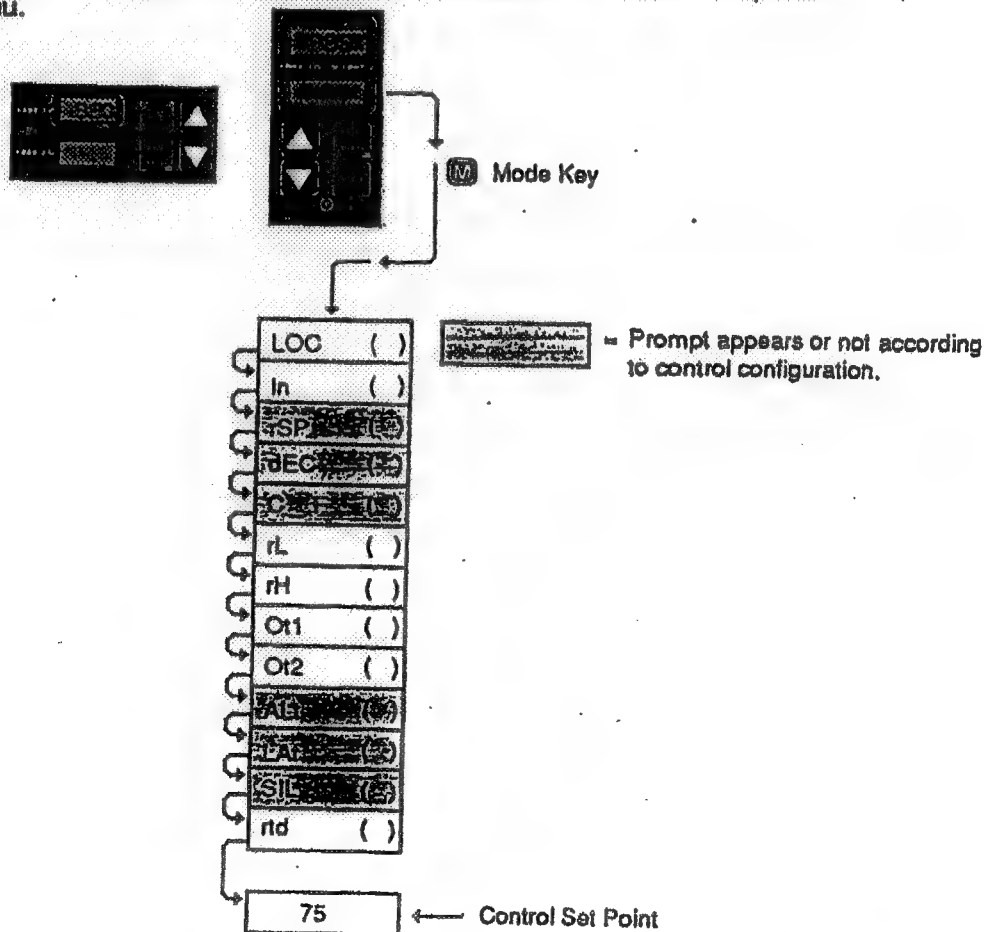
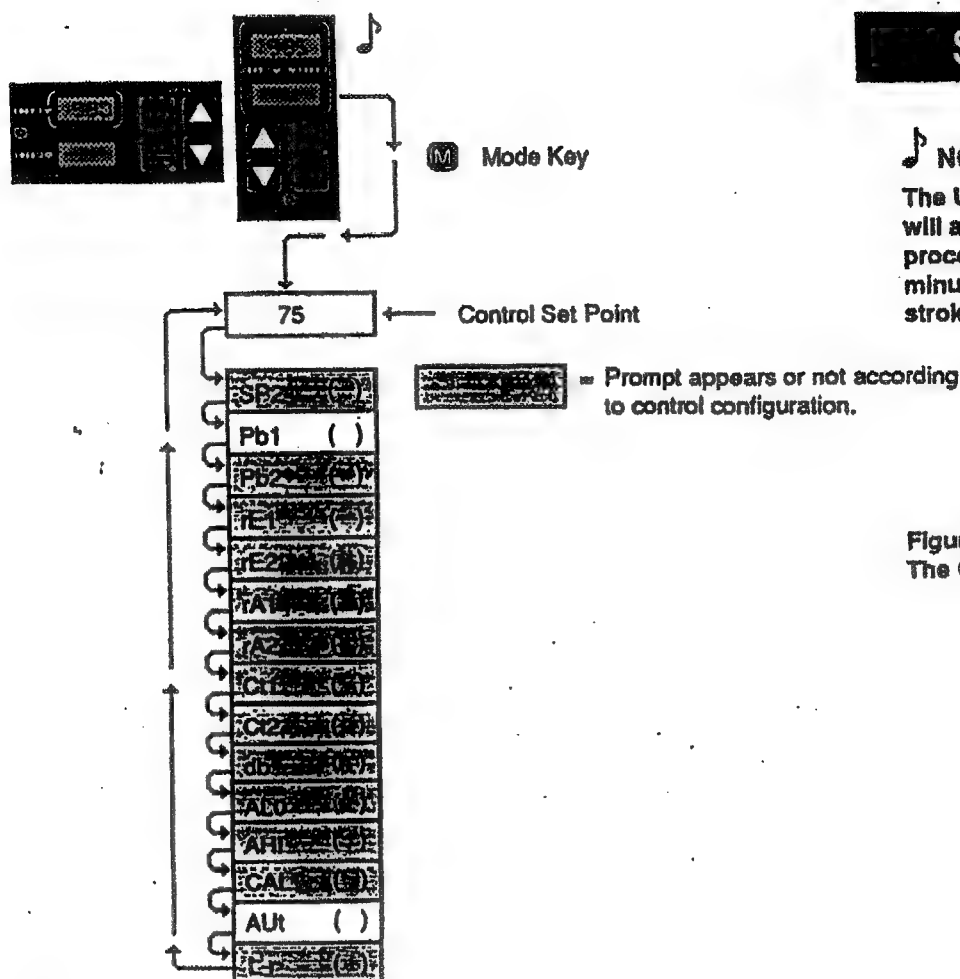


Figure 28 - The Setup Menu.

NOTE:

When using a process input such as 0-5VDC or 4-20mA, the rL and rH settings scale the display to match the measured range of the process signal.

48



NOTE:
The Upper display will always show the process value after 1 minute without key strokes.

Figure 29 - The Operation Menu.

Operation Parameters

Set Point 2: Sets the operating set point for Output 2 when control mode is Ht/Ht or CL/CL. SP2 only appears when Ot1 and Ot2 are the same, and functions as an ON/OFF control.

Proportional Band: Set the proportional bandwidth for each Output, adjustable from 0° to 999°F or 0 to 555°C for ranges displayed in whole degrees, and 0 to 99.9°F or 0 to 55.5°C for ranges displayed in 0.1°. If set at Pb = 0, the Series 980/985 functions as a simple ON/OFF control with a 3°F or 1.7°C switching differential for ranges displayed in whole degrees, and 0.3°F or 0.17°C for ranges displayed in 0.1°. The default is 25°F/13°C.

If the input type is 0-5VDC or 4-20mA, the range of Pb1 is 0-999, 0-99.9 or 0-9.99 (determined by the value of DEC). The switching differential is 0.03, 0.3 or 3 units. Pb2 default is 0. Pb2 only appears with Ht/CL or CL/Ht operation.

Reset: Enter Reset for Output 1 or 2, adjustable from 0.00 to 9.99 rpts/min. A value of 2.00 rpts/min. corresponds to an integral time constant of 30 seconds. Selecting 0.00 = no integral action. rE2 only appears with Ht/CL or CL/Ht operation. rA X will not appear if Pb X = 0 respectively.

Rate: Adjust Rate function for Output 1 or 2, from 0.00 to 9.99 minutes maximum. Selecting 0.00 = no derivative action. rA2 will only appear with Ht/CL or CL/Ht operation. rA X will not appear if Pb X = 0 respectively.

Cycle Time: Enter the Cycle Time for each Output, adjustable from 1 to 60 seconds. The default will be 5 seconds. Ct1 will not appear if Output 1 is 4-20. Ct2 only appears with Ht/CL or CL/Ht operation..

SP2

Pb1
Pb2

rE1
rE2

rA1
rA2

Ct1
Ct2

Chapter 5

How to Tune and Operate

Tuning - Automatic

Auto-tuning: The Series 980/985 gives you the capability to automatically tune the PID parameters to fit the characteristics of your particular thermal system.

The auto-tuning procedure operates on a thermal response value — slow, medium, or fast. A slow thermal response is used when the process temperature is not met too rapidly, or greatly exceeds the set point value. A fast thermal response produces a rapid temperature change over a short period of time.

Once the auto-tune sequence has begun, all PID values for both heat and cool are set to 0 and the control goes into an ON/OFF mode of control at 90% of the established set point. The displayed set point remains unchanged.

The cool output remains off for the duration of the tuning. Once the control has finished "learning" the system, it returns to standard PID control with the heat PID values being automatically established as a result of the auto-tuning. The operator must then establish the cool PID values manually. Tuning is complete within 40 minutes. Any change of the set point, while in auto-tune, re-initiates the auto-tune procedure.

To start auto-tuning:

1. Press the MODE key until the AUT prompt appears in the data display.
2. Select a thermal response value, 1=slow, 2=medium, and 3=fast, using the UP/DOWN keys. A thermal response value of 2 will satisfactorily tune most thermal systems.
3. Press the MODE key. While the control is in the tuning mode, the lower display alternately displays the normal information and the prompt At. The time between alternations is 1 second.
4. When the process is complete, the displays return to their previous state and AUT reverts to 0. The appropriate PID tuning parameters are now installed, and retained in the non-volatile memory.

To abort auto-tuning, the operator must reset the AUT parameter to 0. This leaves the unit in an ON/OFF heat control state in Auto operation at the displayed set point. The auto-tuning process may also be aborted by pressing the AUTO/MANUAL key twice. In both cases, all PID values are set to 0.

NOTE:

Auto-tuning is only possible in the heat mode. The cool output remains off.

Tuning - Manual

For optimum control performance, tune the Series 980/985 to the thermal system. The tuning settings here are meant for a broad spectrum of applications; your system may have somewhat different requirements.

1. Apply power to the Series 980/985 and enter a set point. Begin with these Operation Parameters: Pb1 = 1, rE1 = 0.00, rA1 = 0.00, Ct1 = 5, CAL = 0, AU1 = 0.
2. Proportional Band Adjustment (Output 1): Gradually increase Pb1 until the Upper display temperature stabilizes to a constant value. The process temperature will not be right on set point because the initial reset value is 0.00 repeats per minute. (When Pb1 = 0; rE1 and rA1 are inoperative, and the 980/985 functions as a simple ON/OFF control with a 3°F or 1.7°C switching differential.)
3. Reset Adjustment: Gradually increase rE1 until the upper display temperature begins to oscillate or "hunt". Then slowly decrease rE1 until the Upper display stabilizes again near set point. NOTE: This is a slow procedure, taking from minutes to hours to obtain optimum value.
4. Cycle Time Adjustment: Set Ct1 as required. Optimum system control is sometimes achieved with faster cycle times. However, if a mechanical contactor or solenoid is switching power to the load, a longer cycle time may be desirable to minimize wear on the mechanical components. Experiment until the cycle time is consistent with the quality of control you want.
5. Rate Adjustment: Increase rA1 to 1.00 min. Then raise set point by 20° to 30°F, or 11° to 17°C. Observe the system's approach to set point. If the load temperature overshoots set point, increase rA1 to 2.00 minutes.

Then raise set point by 20 to 30°F, or 11 to 17°C and watch the approach to the new set point. If rA1 is advanced too far, approach to the set point will be very sluggish. Repeat as necessary until the system rises to the new set point without overshooting or approaching the set point too slowly.
6. Calibration Offset Adjustment: You may want your system to control to a temperature other than the value coming from the input sensor. If so, measure the difference between that temperature, perhaps at another point in the system, and the process value showing in the Upper display. Then enter the amount of CAL offset you want. Calibration offset adds or subtracts degrees from the value of the input signal.

Manual and Automatic Operation

To change from manual to auto operation, press the AUTO/MAN key twice.

Manual operation provides direct (time proportioned % power) control of the outputs from -100% to 100%. A negative output value is allowed only with a CI (Cool) selection on either Ot1 or Ot2. Automatic operation provides closed loop ON/OFF or PID control. When the operation transfers from a closed loop to an open loop, the 980/985 retains the power level from the closed loop control. When returning to the closed loop control, the previous set point temperature is restored.

INTRODUCTION AU LANGAGE MATLAB

Ce document est une introduction à l'utilisation du logiciel MATLAB, dans le cadre des travaux dirigés d'Automatique, pour lequel la boîte à outils Control System est employée. Il ne présente donc ce logiciel que dans son utilisation en automatique.

Le logiciel MATLAB (MATrix LABoratory) est spécialisé dans le domaine du calcul matriciel numérique. C'est un progiciel de calcul et de visualisation, dont les entités de base sont des tableaux. C'est un langage interprété, qui propose des facilités de programmation et de visualisation, ainsi qu'un grand nombre de fonctions réalisant diverses méthodes numériques. MATLAB est un formidable outil pour l'ingénieur, y compris pour celui traitant des problèmes pratiques. En effet son principal avantage est qu'il est très simple et très rapide à programmer, offrant une grande tolérance (syntaxe simple, pas de définition de types, ...), ce qui permet un gain appréciable en temps de mise au point. L'ingénieur peut par ce moyen être plus efficace dans l'analyse d'un problème, en concentrant ses efforts sur celui-ci et non pas sur l'outil servant à le résoudre. En conséquence, il tend à devenir une référence au niveau mondial, non seulement dans les universités et instituts de recherche, mais aussi dans le milieu industriel.

Procédure à suivre pour lancer MATLAB® :

- démarrer l'ordinateur sous Windows
- se logger sur le réseau sous votre compte habituel,
- cliquer sur l'icône MATLAB, une fenêtre MATLAB apparaît,

L'environnement MATLAB se présente sous la forme d'un espace de travail, où un interpréteur de commandes exécute des opérations et fonctions MATLAB. Les sources de la plupart de celles-ci sont disponibles, écrites en « langage » MATLAB. L'utilisateur peut à sa guise les modifier, mais en s'en inspirant, il peut surtout créer et rajouter ses propres fonctions. Dans un premier temps, on se contentera d'introduire ses commandes au niveau de l'espace de travail où elles sont interprétées directement. Cependant, par la suite, il sera beaucoup plus pratique d'écrire une séquence de commandes complète au moyen d'un éditeur, puis de sauver le tout dans un fichier avec l'extension « .m ». Cette séquence pourra alors être exécutée dans MATLAB par simple introduction du nom du fichier.

Variables, opérateurs et fonctions

Les noms de variables vérifient les trois principes suivants :

- ils comportent au maximum 31 caractères alphanumériques (a, ..., z, 0, ..., 9, '_', '_'),
- le premier caractère est obligatoirement une lettre,
- MATLAB fait la différence entre majuscules et minuscules.

Il est inutile de :

- typer les variables
- dimensionner les variables

avant de leur affecter une valeur. MATLAB le fait automatiquement.

» x=14;	⇒ définition d'une variable x contenant la valeur 14
---------	--

Le caractère « ; » en fin de commande évite l'affichage du résultat, que ce soit au niveau du prompt ou dans un programme écrit en langage MATLAB.

Il est possible de réaliser des opérations arithmétiques sur les tableaux de dimensions compatibles. Les principaux opérateurs sont. Les opérateurs de base sont classiques :

+	Addition
-	Soustraction
*	Multiplication
/	Division
^	Puissance

Des fonctions spéciales permettent de disposer de constantes fondamentales :

pi	3.1415926535897...
i ou j	Nombre imaginaire pur $i^2 = j^2 = -1$

Les tableaux numériques sont constitués d'éléments séparés par des blancs, des virgules ou des points virgules. Il est possible, de construire ces tableaux terme à terme ou de façon automatique pour des tableaux régulièrement espacés de la manière suivante :

SYNTAXE	a = début :pas :fin ;
----------------	------------------------------

Exemple de tableaux :

<pre>> t1=0:1:10 t1 = 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</pre>	<p>⇒ t1 est un tableau contenant sur 1 ligne les 11 valeurs : 0, 1, 2, ..., 10. On notera l'absence du « ; » pour visualiser le résultat.</p>
<pre>> t2=[0:1:5 ;6:1:11] t2 = 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11</pre>	<p>⇒ t2 est un tableau contenant sur 2 lignes les 12 valeurs : 0, 1, 2, ..., 11.</p>

Il est possible de réaliser des opérations arithmétiques terme à terme sur les tableaux de mêmes dimensions. Les principaux opérateurs sont :

+	Addition
-	Soustraction
.*	Multiplication terme à terme
./	Division terme à terme
.^	Puissance terme à terme

Le noyau de MATLAB est composé de fonctions. Chaque fonction porte un nom et possède des paramètres d'entrée entre parenthèses () et/ou de sortie entre crochets []. La syntaxe d'appel d'une fonction est la suivante :

SYNTAXE	[x1,x2,...] = nom_fonction(a1,a2,...) - nom_fonction : nom de la fonction - a1, a2, ... : paramètres d'entrées de la fonction - x1, x2, ... : paramètres de sorties de la fonction
----------------	--

Exemple de fonction :

<pre>> [y]=sin([0 pi/4 pi/2]) y = 0 0.707 1</pre>	<p>⇒ utilisation de la fonction sin. Cette fonction à un paramètre d'entrée et un paramètre de sortie.</p>
--	--

La commande suivante est indispensable et doit être utilisée pour connaître l'usage et la procédure d'appel d'une fonction :

help nom_fonction	Aide en ligne de la fonction « nom_fonction ».
--------------------------	--

Visualisation

MATLAB permet de tracer facilement le graphe de fonctions. Cela se fait à l'aide de la fonction `plot`. Par défaut MATLAB crée un système d'axes adéquats. La syntaxe générale de la commande `plot` est la suivante :

SYNTAXE	plot(x,y,s) x : tableau des abscisses, y : tableau des ordonnées, s : chaîne de caractère facultative définissant : - la couleur, - le style du tracé
----------------	--

Les principaux utilitaires pour effectuer un graphique sont :

figure	Création d'une nouvelle figure
subplot	Création de plusieurs systèmes d'axes
grid	la commande <code>grid on</code> active l'affichage d'une grille et la commande <code>grid off</code> désactive l'affichage d'une grille
hold	la commande <code>hold on</code> active la superposition de tracés et la commande <code>hold off</code> désactive la superposition de tracés
close	Fermeture de figures

Nous disposons aussi de fonctions permettant de faire des annotations :

title	Titre du graphique
xlabel	Libellé de l'axe des abscisses...
ylabel	et de l'axe des ordonnées
text	Commentaires à une position spécifique

Exemples de visualisation :

» <code>t=0:1:10;</code> » <code>y=sin(t);</code> » <code>plot(t,y,'c*')</code>	⇒ les points sont représentés par des étoiles de couleurs cyan
» <code>grid on</code>	⇒ affichage d'une grille
» <code>title('Sinus')</code>	⇒ titre
» <code>xlabel('t')</code>	⇒ libellé sur l'axe des abscisses
» <code>ylabel('sin(t)')</code>	⇒ libellé sur l'axe des ordonnées

Un tracé peut être superposé à un autre en utilisant la commande `hold`.

» <code>t=0:1:10;</code> » <code>y=sin(t);</code> » <code>plot(t,y,'r')</code>	⇒ affichage de l'ordonnée y en fonction de l'abscisse t en rouge
» <code>hold on</code>	⇒ fonction de superposition activée
» <code>plot(y,t,'g')</code>	⇒ affichage de l'ordonnée t en fonction de l'abscisse y en vert
» <code>hold off</code>	⇒ fonction de superposition désactivée

La commande `subplot` permet de mettre plusieurs systèmes d'axes sur une même figure.

SYNTAXE	subplot(Nblignes,Nbcolonnes,Indice)
----------------	--

Par exemple la commande `subplot(3,2,4)` sépare la figure en 3 lignes et 2 colonnes et crée le quatrième système d'axes.

Exemple d'utilisation de la commande `subplot`.

» <code>t=0:1:10;</code>

55

» y1=sin(t);	
» y2=cos(t);	
» subplot(2,1,1)	⇒ un système d'axes est crée dans la moitié supérieure
» plot(t,y1)	⇒ affichage du sinus
» subplot(2,1,2)	⇒ un système d'axes est crée dans la moitié inférieure
» plot(t,y2)	⇒ affichage du cosinus

La commande zoom active un zoom interactif sur un graphique.

SYNTAXE	zoom
	<ul style="list-style-type: none"> - la commande zoom on active le zoom et la commande zoom off désactive le zoom. - bouton gauche de la souris : sélectionner une zone ou cliquer une fois sur un point pour agrandir avec un rapport de 2. - bouton droit de la souris : cliquer une fois pour réduire avec un rapport de 2, double-cliquer pour annuler tout agrandissement.

LE LANGAGE MATLAB ET LA RESOLUTION DE PROBLEMES EN AUTOMATIQUE

Dans le cadre de l'automatique, MATLAB constitue avant tout un très puissant outil d'analyse des systèmes dynamiques linéaires, dont on peut très facilement obtenir les propriétés, comme les pôles et zéros (roots) ou le gain statique (dcgain) et tracer les réponses de tous types, la réponse impulsionnelle (impulse), indicielle (step), à un signal quelconque (lsim), ou harmonique (bode, nichols, nyquist). Différentes commandes permettent de construire et d'analyser des systèmes linéaires de structure complexe, formés de multiples blocs connectés tantôt en série (series), parallèle (parallel) ou en contre-réaction (feedback).

Ecriture d'une fonction de transfert :

L'introduction d'une fonction de transfert s'effectue en deux temps, les polynômes du numérateur et du dénominateur devant être donnés séparément. Le principe est simple : les polynômes du numérateur et du dénominateur apparaissent sous forme de tableaux, les composantes desquels étant les coefficients des monômes selon les puissances décroissantes de 'p'.

Soit par exemple la fonction de transfert : $G(p) = 3 \frac{1+2p}{12p^2+2p+1}$

Son introduction dans MATLAB se fait par les commandes :

» numG=3*[2 1];	⇒ définition du numérateur de $G(p)$
» denG=[12 2 1];	⇒ définition du dénominateur de $G(p)$

Attention : tous les coefficients sont écrits qu'ils soient nuls ou non : $G(p) = 3 \frac{1}{p^2+2p}$

Son introduction dans MATLAB se fait par les commandes :

» numG=3;	⇒ définition du numérateur de $G(p)$
» denG=[1 2 0];	⇒ définition du dénominateur de $G(p)$

Remarque : Les noms donnés aux numérateurs et dénominateurs sont libres. On aura toutefois intérêt à être organisé et rigoureux dans les notations employées.